Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XLVII. Jahrgang. 1934. Zweites Heft.

Wozu fiktive Spannungen im elektromagnetischen Feld?

Von **Fritz Emde** in Stuttgart.

Kaum ein anderer Begriff der Physik wird fortgesetzt so oft mißverstanden wie der von MAXWELL ersonnene der fiktiven Spannungen. Sind doch solche Mißverständnisse keinem geringeren unterlaufen als H. POINCARÉ[1]. Die Mißverständnisse treffen weniger die elektromagnetische als die mechanische Seite des Begriffes und mehr die physikalische Seite als die mathematische.

Im ersten Teil der folgenden Betrachtungen kümmern wir uns nicht darum, wie groß die Spannungen sind und wie sie gerichtet sind, wie sie also aus dem elektrischen oder magnetischen Feld zu konstruieren sind, sondern wir fragen uns: Wie die fiktiven Spannungen auch immer beschaffen sein mögen, wodurch unterscheiden sie sich von den elastischen Spannungen? Und wenn sie in einem Körper zugleich mit den elastischen vorkommen, wie greifen die fiktiven und die elastischen Spannungen ineinander? In welcher Beziehung stehen sie zu den Kräften? Da man ferner auch ohne die fiktiven Spannungen auskommen könnte, fragen wir weiter: Um welcher Vorteile willen bürdet man sich diesen erfahrungsmäßig schwierigen Begriff auf?

Nachdem wir über diese Fragen Klarheit erlangt haben, zeigen wir im zweiten Teil, wie die fiktiven Spannungen an einem Feldpunkt aus dem elektrischen oder dem magnetischen Feld zu konstruieren sind. Dazu bedienen wir uns eines Modells (Mechanismus), ziehen also eine anschauliche Konstruktion einer formelmäßigen Darstellung vor.

Nachdem die fiktiven Spannungen qualitativ und quantitativ vollständig erklärt sind, übersetzen wir im dritten Teil das Gesagte in die Sprache einfacher Vektorformeln. Aus der Spannung wird dann allgemein ihr Traktor, d. h. die aus ihr resultierende Kraftdichte berechnet. Durch eine Umformung läßt sich zeigen, daß der Traktor tatsächlich die bekannten Kräfte darstellt.

I. Begriff der fiktiven Spannungen.

1. Traktor. Eine Trommel, die sich schnell um ihre Achse dreht, kann infolge der Fliehkraft auseinanderfliegen. Ein Rohr, das eine unter Druck stehende Flüssigkeit enthält, kann gesprengt werden. In beiden Fällen haben wir im Material hohe elastische Spannungen. Aber sie sind in sehr verschiedener Art verteilt. Die Rohrwand empfängt die Kraft von außen her (nämlich auf ihrer Innenfläche), die Trommelwand in ihrem Innern. Die Spannungen, die auf die Oberfläche eines Volumenelementes im Innern der Rohrwand wirken, sind unter sich im Gleichgewicht. Im Innern der Trommelwand müssen sie aber einen Rest lassen, der die Fliehkraft des Volumenelementes aufhebt. In der Tensorenrechnung sagt man, der Spannungstensor habe in der Trommelwand einen radial nach innen gerichteten Gradienten oder Traktor, in der Rohrwand sei der Traktor Null.

In einem tiefen Schacht macht sich neben der Förderlast das Eigengewicht des Förderseils geltend. Die Spannung im Förderseil wächst nach oben hin, sie hat einen aufwärts gerichteten Traktor. Die Resultante aus der Schwere der Raumeinheit des Seils und aus dem Traktor ist Null (bei gleichförmiger Geschwindigkeit). Traktor und Schwere sind also einander nicht gleich, sondern entgegengesetzt gleich. Das

[1] H. POINCARÉ: Él. et opt., Paris 1901, p. 73 und 75.

hängt damit zusammen, daß man unter den elastischen Spannungen gewöhnlich nicht die versteht, mit denen ein Körper auf eine Verzerrung antwortet, sondern die Spannungen, die nötig sind, um den Körper zu verzerren. Im Förderseil betrachtet man die Spannung nicht als Druck, der sich der Dehnung widersetzt, sondern als dehnenden Zug; in einer verdichteten Flüssigkeit nicht als einen nach Ausdehnung strebenden Zug, sondern als verdichtenden Druck. Sonst hätte man im Förderseil einen abwärts gerichteten Traktor.

2. Spannungstensor. In einer reibungslosen Flüssigkeit ist die Spannung ein Skalar (allseitiger Druck). In einem festen Körper ändert sich dagegen die Spannung nicht nur mit dem Ort, sondern im selben Punkt bekommt man auf verschieden gestellte kleine Flächen Kräfte, die verschiedene Größe und gegen die Flächen verschiedene Richtungen haben. Kennt man die Kräfte für drei ebenenfremde Stellungen, so kennt man sie für alle. Die Spannung in einem festen Körper ist ihrer geometrischen Natur nach eine Größe, die durch ein Ellipsoid veranschaulicht wird. Sie ist bestimmt, wenn die Lage und Größe der drei Achsen des Ellipsoids bekannt sind. Das erfordert sechs Zahlenangaben. Eine solche Größe heißt ein Tensor (oder symmetrischer Affinor). Die elastischen Spannungen sind an sich nicht wahrnehmbar (sie sind „fiktiv"), aber sie verraten sich durch die ihnen entsprechenden Verzerrungen. Deswegen pflegt man die elastischen Spannungen nicht als „fiktive" zu bezeichnen.

3. Elektromagnetische Spannungen. Als fiktive elektromagnetische Spannungen bezeichnet man Spannungen, deren Traktor gleich den bekannten Kräften elektrischer und magnetischer Art ist (nicht entgegengesetzt gleich!). Das sind also z. B. die Kräfte auf geladene Körper im elektrischen Feld („Quellenkräfte"), Kräfte, die wir bei Elektromagneten beobachten („Gefällskräfte"), Kräfte auf durchströmte Leiter im magnetischen Feld („Wirbelkräfte"). Solcher fiktiver Spannungen gibt es unendlich viele. Denn haben wir eine, so können wir eine Spannung mit dem Traktor Null, eine „traktorfreie", hinzufügen, und haben wieder eine. Die fiktiven Spannungen sollen nicht nur einen vorgeschriebenen Traktor haben, sondern sie sollen auch noch an jedem Punkt nur von dem Feld in diesem Punkt und in seiner unmittelbaren Nachbarschaft bestimmt sein, ganz unabhängig davon, wie das Feld entstanden ist. Die von Maxwell angegebenen fiktiven Spannungen hängen sogar nur von dem Feld im selben Punkt ab, nicht auch von dem Feld in der unmittelbaren Umgebung. Dadurch sind sie vor allen sonst noch möglichen ausgezeichnet.

Die elastischen Spannungen bleiben auch in solchen Teilen eines Körpers nicht verborgen, in denen sie traktorfrei sind. Denn sie machen sich durch Verzerrungen dieser Körpergebiete bemerkbar. Der starre d. h. unverzerrbare Körper, ist ja nur eine Abstraktion. In einem starren Körper wären die „elastischen" Spannungen (wenn man sie hier überhaupt noch so nennen wollte) durchaus „fiktiv". Gegenüber den elektromagnetischen Spannungen verhalten sich alle Körper, auch Flüssigkeiten und Gase, starr: traktorfreie elektromagnetische Spannungen verzerren keinen Körper. Durch nichts verraten sie ihr Dasein. Haben die elektromagnetischen Spannungen in einem Körper oder an seiner Oberfläche einen Traktor, so wird der Körper allerdings verzerrt. Aber dann sind neben den elektromagnetischen Spannungen in dem Körper auch noch elastische Spannungen mit entgegengesetzt gleichem Traktor vorhanden. Elektromagnetische Spannungen nimmt man nicht nur in den Körpern an, sondern auch im leeren Raum. Hier bleiben sie natürlich vollkommen verborgen. Wenn man demnach von den elektromagnetischen Spannungen nur ihren Traktor wahrnimmt, was sollen sie uns dann überhaupt? Sind sie nicht lediglich eine nutzlose Belastung der Vorstellung?

4. Kraftübertragung. Die Tatsache, daß die Erde aus ihrer geradlinigen Bahn andauernd nach der Sonne hin abgelenkt wird, drückt man so aus: Sonne und Erde ziehen sich an. Wenn jemand einen Stein an eine Schnur bindet und im Kreis herumschleudert, so wird die Schnur gespannt. Man sagt, die gespannte Schnur „übertrage" die Kraft von dem Stein auf die Hand oder umgekehrt von der Hand auf den Stein.

Wenn aber jemand die Schnur weder sehen, noch vermuten könnte, so würde er auch hier sagen, Hand und Stein zögen sich an. Mit Schnur haben wir eine „Nahewirkung", die Kraft wird „übertragen". Ohne Schnur haben wir eine „Fernwirkung", die Kraft „überspringt" den Zwischenraum. Bei den elektrischen und magnetischen Anziehungen fehlt die gespannte Schnur. Darum hat man diese Anziehungen zuerst als Fernwirkungen aufgefaßt. Um sie als Nahewirkungen auffassen zu können, hat MAXWELL als Ersatz für die gespannte Schnur die fiktiven elektromagnetischen Spannungen eingeführt. Sie haben also vor allem den Zweck, die Vorstellung zu ermöglichen, daß die dem naiven Beobachter als Fernkräfte erscheinenden elektrischen und magnetischen Anziehungen und Abstoßungen in Wahrheit durch den Zwischenraum hindurch übertragen werden. Zum mindesten sind zunächst beide Auffassungen möglich Erst später hat die Untersuchung sehr schnell veränderlicher elektromagnetischer Zustände erwiesen, daß die elektromagnetischen Kräfte keine Fernwirkungen, sondern zu ihrer Ausbreitung Zeit brauchende Nahewirkungen sind.

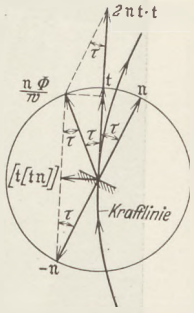


Fig. 1. Fiktive Spannung, die auf ein schief zur Kraftlinientangente gestelltes Flächenelement wirkt, und ihre Zerlegung in Komponenten.

Wir fassen zusammen: Die fiktiven elektromagnetischen Spannungen haben mit den Verzerrungen der Körper unmittelbar gar nichts zu tun. Sie können auch in unverzerrten Körpern vorhanden sein, ja auch im leeren Raume. Auch mit den elastischen Spannungen der Körper haben sie unmittelbar nichts zu tun. Der Traktor der elastischen Spannungen hebt bei Gleichgewicht sämtliche Kräfte auf (Schwerkraft, Fliehkraft, elektrische und magnetische Kraft). Der Traktor der elektromagnetischen Spannungen ist nur die Kraft elektrischer und magnetischer Art. Soll keine Bewegung eintreten, so muß die Resultante aus Schwerkraft, Fliehkraft (allgemeiner Trägheitskraft), Traktor der elektromagnetischen Spannungen und Traktor der elastischen Spannungen Null sein.

II. Richtung und Größe der fiktiven Spannungen.

5. Konstruktionsregel. Wenn wir nach der fiktiven Spannung an einem Punkt etwa in einem elektrischen Felde fragen, also nach der Kraft auf eine (sehr klein gedachte) Flächeneinheit, müssen wir angeben, welche Stellung die Flächeneinheit haben soll, anders gesagt, welche Richtung der Normalenvektor haben soll. Dabei müssen wir die beiden Seiten der Flächeneinheit unterscheiden, etwa als positive und negative. Zu ihnen gehören entgegengesetzt gleiche Normalenvektoren. Wir beachten zunächst immer nur die eine Seite der Flächeneinheit. Die fiktive Spannung ergibt sich dann nach den beiden folgenden Regeln (Fig. 1):

1. Die Kraftlinientangente im betrachteten Feldpunkt halbiert den Winkel 2τ zwischen der Flächennormale und der fiktiven Spannung.

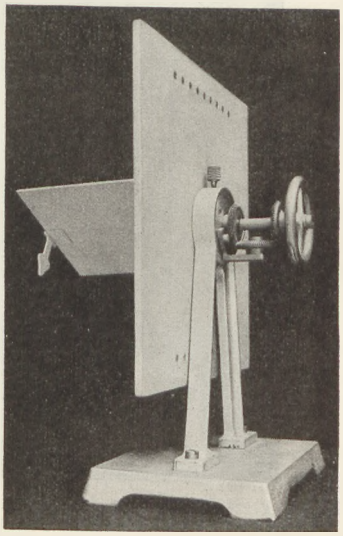


Fig. 2. Kegelrädertrieb des Modells.

2. Der Betrag der fiktiven Spannung hängt nicht von der Richtung der Flächennormale ab und ist gleich der Dichte, die die elektrische Feldenergie in dem betrachteten Feldpunkt hat.

6. Modell. Das abgebildete Modell (Fig. 2 bis 7) befolgt diese beiden Regeln selbsttätig und macht so den Sachverhalt anschaulich.

Die Schar paralleler Stäbe soll die Kraftlinien eines elektrischen Feldes an einer beliebigen Stelle versinnlichen. Um eine zu den Stäben senkrechte Achse ist ein

(viereckiges) Blechstück drehbar, das auf der einen Seite weiß, auf der andern schwarz gefärbt ist. Es soll die Flächeneinheit mit ihrer positiven und negativen Seite darstellen. Entsprechend gefärbte kurze Pfeile geben die beiden Flächennormalen an. Im stetigen Feld (also nicht an der Oberfläche eines Körpers) wirken auf die beiden Flächenseiten

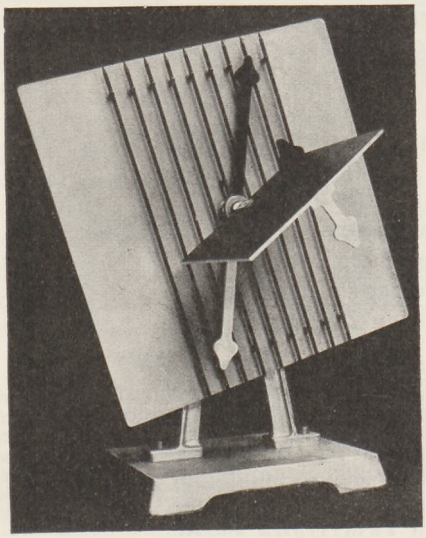


Fig. 3.

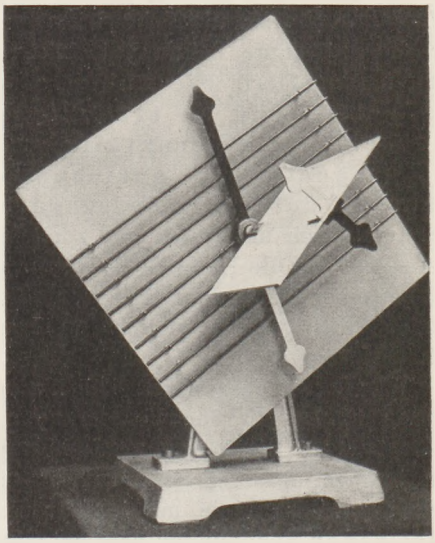


Fig. 4.

Fig. 3 u. 4. Modell bei zwei willkürlichen Einstellungen.

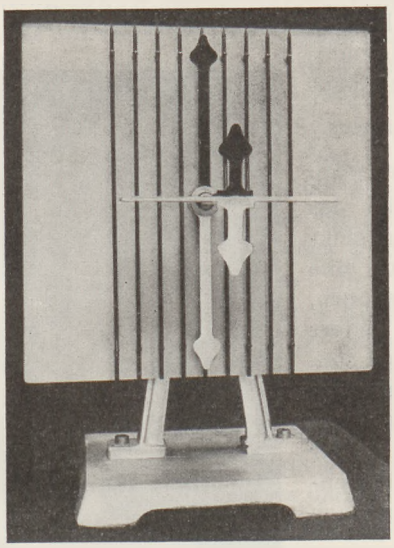


Fig. 5. Fiktiver Zug auf ein zur Kraftlinientangente senkrechtes Flächenelement.

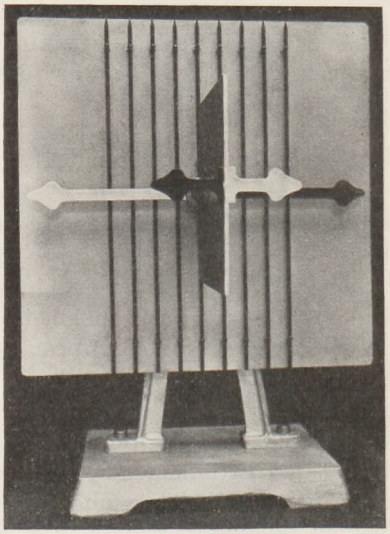


Fig. 6. Fiktiver Druck auf ein zur Kraftlinientangente paralleles Flächenelement.

entgegengesetzt gleiche Kräfte. Sie werden durch die beiden langen Pfeile dargestellt. Der schwarz gefärbte Pfeil gibt die Kraft auf die schwarze Seite der Fläche an, der weiß gefärbte die Kraft auf die weiße Seite.

7. Sonderfälle. Wir betrachten jetzt drei besondere Fälle:

1. (Fig. 5.) Die Fläche steht senkrecht auf den Kraftlinien, die Flächennormale ist ihnen parallel ($\tau = 0$). Die Kraftpfeile stehen senkrecht auf der Fläche, und zwar ist der schwarze Kraftpfeil von der schwarzen Flächenseite weg gerichtet. Auf die Fläche wirkt ein Zug („Längszug").

2. (Fig. 6.) Die Fläche steht parallel zu den Kraftlinien, die beiden Flächennormalen sind zu ihnen senkrecht ($\tau = 90^0$). Die beiden Kraftpfeile stehen auch jetzt wieder senkrecht auf der Fläche, aber der schwarze Kraftpfeil ist nach der schwarzen Flächenseite hin gerichtet. Auf die Fläche wirkt ein Druck („Querdruck").

3. (Fig. 7.) Flächennormale und Kraftlinientangente schließen den Winkel $\tau = 45^0$ ein. Dann sind die beiden Kraftpfeile der Fläche parallel. Auf die Fläche wirkt ein Schub.

In allen drei Fällen haben die Kraftpfeile dieselbe Länge. Ihre Spitzen beschreiben in der Ebene einen Kreis, im Raum eine Kugel. Trotzdem ist die fiktive Spannung kein Skalar (wie etwa der Flüssigkeitsdruck). Denn die fiktive Spannung hat eine ausgezeichnete Richtung, eine Symmetrieachse, nämlich die Kraftlinientangente.

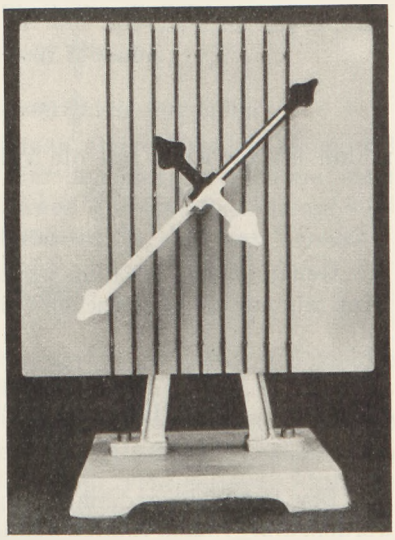


Fig. 7. Fiktiver Schub auf ein unter 45° gegen die Kraftlinientangente geneigtes Flächenelement.

8. Andere Konstruktionsregel. Sehr übersichtlich werden die Spannungen auch so beschrieben: Auf den Flächennormalen trage man nicht Einheitsvektoren ab, sondern Vektoren, deren Betrag gleich der Energiedichte ist. Darauf lasse man den Raum um die Kraftlinientangente als Achse eine Halbdrehung machen. Dadurch gehen jene Vektoren sofort in die zugehörigen Vektoren der fiktiven Spannung über[1].

III. Ergeben sich aus den Spannungen die Kräfte richtig?

9. Vektor der fiktiven Spannung. Was uns das Modell zeigt, können wir vektoralgebraisch kurz so ausdrücken: An einem Feldpunkt sei w die Dichte der elektrischen Feldenergie und $\mathfrak{t}$ der Einheitsvektor in der positiven Richtung der Kraftlinientangente. Auf die positive Seite eines dort befindlichen Flächenelementes mit dem Einheitsvektor $\mathfrak{n}$ in Richtung der Flächennormale wirkt dann nach Größe und Richtung die fiktive Spannung

$$\mathfrak{n}\Phi = w(2\mathfrak{n}\mathfrak{t}\cdot\mathfrak{t} - \mathfrak{n}),$$

oder mit $\mathfrak{D} = \Delta_0 \varepsilon \mathfrak{E}$ und $w = \frac{1}{2}\mathfrak{E}\mathfrak{D}$ (mit der gebräuchlichen Bedeutung der Buchstaben)

$$\mathfrak{n}\Phi = \mathfrak{n}\mathfrak{D}\cdot\mathfrak{E} - \mathfrak{n}\cdot\tfrac{1}{2}\mathfrak{D}\mathfrak{E}.$$

Läßt man überall den Normalenvektor $\mathfrak{n}$ weg, so bleibt der Spannungstensor Φ stehen.

10. Flächentraktor. Wir wollen jetzt die Kraft berechnen, die auf die Flächeneinheit einer Körperoberfläche (Grenzfläche zwischen den Körpern 1 und 2) wirkt. Diese Kraft ist der „Flächentraktor" von Φ, d. h.

$$\mathfrak{P} = \mathfrak{n}_{12}(\Phi_2 - \Phi_1) = \mathfrak{n}_{12}\mathfrak{D}_2\cdot\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{n}_{12}\mathfrak{D}_1\cdot\mathfrak{E}_1 - \mathfrak{n}_{12}\cdot\tfrac{1}{2}\mathfrak{D}_2\mathfrak{E}_2 + \mathfrak{n}_{12}\cdot\tfrac{1}{2}\mathfrak{D}_1\mathfrak{E}_1.$$

Das formen wir so um:

$$\mathfrak{n}_{12}\mathfrak{D}_2\cdot\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{n}_{12}\mathfrak{D}_1\cdot\mathfrak{E}_1 = \mathfrak{n}_{12}(\mathfrak{D}_2 - \mathfrak{D}_1)\cdot\frac{\mathfrak{E}_1+\mathfrak{E}_2}{2} + \frac{\mathfrak{n}_{12}\mathfrak{D}_1+\mathfrak{n}_{12}\mathfrak{D}_2}{2}\cdot(\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1).$$

Das erste Glied rechts ist das Produkt aus der Flächendivergenz Div $\mathfrak{D}$ der Verschiebung $\mathfrak{D}$ und der mittleren Feldstärke $\overline{\mathfrak{E}}$. Das zweite Glied bringen wir nach dem Entwicklungssatz der Vektorenalgebra auf die Form

$$\left[[\mathfrak{n}_{12}(\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1)]\frac{\mathfrak{D}_1+\mathfrak{D}_2}{2}\right] + \mathfrak{n}_{12}\cdot\frac{\mathfrak{D}_1+\mathfrak{D}_2}{2}(\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1).$$

Hierin ist das erste Glied das vektorische Produkt aus dem Flächenrotor Rot $\mathfrak{E}$ der Feldstärke $\mathfrak{E}$ und der mittleren Verschiebung $\overline{\mathfrak{D}}$. Im zweiten Glied ist der Faktor von $\frac{1}{2}\mathfrak{n}_{12}$:

$$\Delta_0\mathfrak{E}_1\mathfrak{E}_2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + \mathfrak{D}_2\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{D}_1\mathfrak{E}_1.$$

[1] SPIELREIN: Lehrbuch der Vektorrechnung. 2. Aufl. Stuttgart, Wittwer 1926. S. 333.

Dann ist noch zu beachten, daß $n_{12}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) = \text{Grad } \varepsilon$ der Flächengradient der Dielektrizitätskonstante ε ist. Zusammengefaßt ergibt das:

$$\mathfrak{P} = n_{12}(\Phi_2 - \Phi_1) = \overline{\mathfrak{E}}\,\text{Div}\,\mathfrak{D} + [\text{Rot}\,\mathfrak{E}\,\overline{\mathfrak{D}}] - \frac{\Delta_0}{2}\mathfrak{E}_1\mathfrak{E}_2 \cdot \text{Grad}\,\varepsilon$$
$$= \text{Quellenkraft} + \text{Wirbelkraft} + \text{Gefällskraft}.$$

Wegen $\text{Rot}\,\mathfrak{E} = 0$ verschwindet die Wirbelkraft. Wie wir sehen, ist der Flächentraktor von Φ tatsächlich gleich den bekannten Kräften elektrischen Ursprungs.

11. Räumlicher Traktor. Im stetig veränderlichen Feld bekommen wir ganz ähnlich den räumlichen Traktor:

$$\nabla\,\mathfrak{D}\cdot\mathfrak{E} = \mathfrak{E}\,\text{div}\,\mathfrak{D} + \mathfrak{D}\nabla\cdot\mathfrak{E},$$
$$\nabla\cdot\tfrac{1}{2}\mathfrak{E}\mathfrak{D} = \frac{\Delta_0}{2}\nabla\cdot\varepsilon\mathfrak{E}^2 = \frac{\Delta_0}{2}\{\mathfrak{E}^2\cdot\nabla\varepsilon + 2\varepsilon(\mathfrak{E}\nabla\cdot\mathfrak{E} + [\mathfrak{E}[\nabla\mathfrak{E}])\}$$
$$= \frac{\Delta_0}{2}\mathfrak{E}^2\cdot\text{grad}\,\varepsilon + \mathfrak{D}\nabla\cdot\mathfrak{E} + [\mathfrak{D}\,\text{rot}\,\mathfrak{E}],$$

mithin ist die Kraft auf die Volumeneinheit

$$\mathfrak{k} = \nabla\Phi = \mathfrak{E}\,\text{div}\,\mathfrak{D} + [\text{rot}\,\mathfrak{E}\,\mathfrak{D}] - \frac{\Delta_0}{2}\mathfrak{E}^2\cdot\text{grad}\,\varepsilon$$
$$= \text{Quellenkraft} + \text{Wirbelkraft} + \text{Gefällskraft}.$$

Genau ebenso erhalten wir die Spannungen und Kräfte im magnetischen Feld, wenn wir nur die elektrischen Vektoren durch die entsprechenden magnetischen ersetzen.

Chemische Schulversuche zum Luftschutz.

Von **R. Scharf** in Berlin.

Der Luftschutzgedanke kann im Unterricht durch verschiedene Fächer gefördert werden, den größten Einfluß auf dieses Gebiet wird jedoch die Chemie haben. Sichtschutz, Gasschutz, Feuerschutz sind Teilgebiete, die nur vom chemischen Standpunkt aus in einwandfreier Form seitens der Schule behandelt werden können. Nun ist der Kern des naturwissenschaftlichen Unterrichts das Experiment, und gerade an Experimenten, die sich mit dem Thema „Luftschutz" befaßten, schien es bisher zu fehlen. Hierin Wandel zu schaffen, hatte ich mir zur Aufgabe gesetzt, und ich habe schließlich eine ganze Reihe Versuche gefunden, die sich für den gedachten Zweck eignen. Zum Teil sind es Versuche, die an sich längst bekannt sind und nur in solche Ausführungsform gebracht werden mußten, daß die Nutzanwendung auf den Luftschutz sich zwanglos ergab; zum Teil sind es aber auch neuartige Versuche, die einzig und allein für den besonderen Zweck anwendbar sind. Davon sind einige schon bei anderen Gelegenheiten gezeigt worden, die ich aber der Vollständigkeit wegen mit anführen will, weil sie nur recht wenig bekannt sind; einige andere sind von mir ausgearbeitet worden. Alle diese Versuche wurden zum ersten Male in dieser Zusammenstellung von den Teilnehmern am Luftschutzkursus des 36. Herbstferienlehrganges der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht im Herbst des vergangenen Jahres ausgeführt.

Ein weites Gebiet ist das des Gasschutzes; auch der Schutz gegen Dämpfe und Schwebstoffe wird im gewöhnlichen Sprachgebrauch zum Gebiet des Gasschutzes gerechnet. Um zu einer Systematik der Versuche zu gelangen, gehe ich von der Konstruktion eines Gasmaskeneinsatzes aus. Damit soll nun nicht gesagt sein, daß ich es für zweckmäßig halte, im Unterricht in dieser Weise vorzugehen; man wird im Gegenteil bald hier, bald dort einen der Versuche im Zusammenhange mit dem übrigen Unterricht ausführen und auf seine Bedeutung für den Gasschutz hinweisen. Auf solche Weise, durch wiederholte Bezugnahme auf den Luftschutz, wird für diesen Gedanken mehr getan werden können, als wenn innerhalb von 14 Tagen oder 3 Wochen sämtliche Versuche auf einmal ausgeführt werden.

Hiernach ergibt sich folgende Anordnung für die Versuche:

I. Schwere der Kampfgase;
II. Adsorption gasförmiger Stoffe an aktive Kohle;
III. Absorption gasförmiger Stoffe durch Chemikalien;
IV. Katalytische Verbrennung von Kohlenoxyd;
V. Vernichtung von Schwebstoffen;
VI. Versuche mit Elektronmetall und Thermit;
VII. Herstellung eines Reizstoffes.

Die zur Verwendung kommenden Gase können selbstverständlich nicht die Kampfgase selbst sein (außer im Falle des Chlors). Man ist auf Ersatzstoffe angewiesen, die jedoch für Unterrichtszwecke leicht nachweisbar sein müssen.

I. Die Schwere der Kampfgase zeige ich durch folgenden

Versuch 1: In einen trockenen 1 l-Kolben gibt man einige Tropfen Brom und bringt dieses durch Schwenken des Kolbens über der leuchtenden Flamme eines Bunsenbrenners zum Verdampfen. Der entstandene, braun gefärbte Bromdampf wird in ein Becherglas umgegossen. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich aus Versuch 7.

II. Versuche mit aktiver Kohle.

Versuch 2: Herstellung aktiver Holzkohle.

In einem zugedeckten Porzellantiegel wird auf Erbsengröße zerkleinerte Holzkohle etwa 10 Minuten über dem Bunsenbrenner geglüht. Die von der Holzkohle für gewöhnlich adsorbierten Dämpfe (hauptsächlich Wasser) werden dadurch ausgetrieben; die Kohle kann daher nach dem Erkalten wieder Dämpfe aufnehmen. Mit der Wirksamkeit der aktiven Kohlen des Handels verglichen, ist sie allerdings von recht geringer Aktivität. Sofort nach dem Erkalten läßt sich die Holzkohle zu dem nächsten Versuch benutzen.

Versuch 3: Die aktive Holzkohle wird in einer Reibschale grob zerkleinert und in den vom Versuch 1 her noch mit verdünntem Bromdampf gefüllten Kolben geschüttet. Es tritt zunächst noch keine Entfärbung ein. Erst wenn der mit einem Stopfen oder einfach mit der flachen Hand verschlossene Kolben geschüttelt wird, so daß die aktive Holzkohle in gute Berührung mit dem Bromdampf kommt, tritt innerhalb weniger Sekunden Entfärbung ein.

Versuch 4: Befreiung eines Wasserstoff-Benzol-Gasstroms von Benzol.

Zu diesem und den folgenden Versuchen mit aktiver Kohle wurde die aktive Kohle von Schering-Kahlbaum und die der Degea A.G (Auer) benutzt. Die erstere kommt in Form kleiner Preßzylinder in den Handel, die für die hier beschriebenen Versuche auf etwa Graupengröße zerkleinert werden; der dabei gebildete Kohlestaub muß abgesiebt werden. Die aktive Kohle der Degea A.G. wird von dieser zur Füllung von Gasmasken-Einsätzen benutzt und hat schon die richtige Korngröße. Die Versuchsanordnung ist folgende:

Ein Wasserstoffstrom wird durch eine Waschflasche mit Benzol geleitet; hierbei beladet sich der Wasserstoff mit Benzoldampf, der Wasserstoff wird „karburiert“. Entzündet man den aus einer Glasspitze ausströmenden karburierten Wasserstoff, so brennt er mit einer, durch ausgeschiedenen glühenden Kohlenstoff leuchtenden Flamme. Der nicht karburierte Wasserstoff dagegen brennt nur mit einer durch das Natrium des Glases schwach gelb gefärbten Flamme. Um eine ganz schwach bläulich leuchtende Flamme zu erhalten, müßte man den Wasserstoff aus einem Quarzröhrchen ausströmen lassen.

Man läßt jetzt den karburierten Wasserstoff über aktive Kohle strömen. Die Flamme ist zunächst nicht bzw. schwach gelb gefärbt, bis nach einiger Zeit die Flamme hell leuchtend wird. Das ist dann der Fall, wenn die aktive Kohle mit Benzol gesättigt ist. Dieser Vorgang wird als das „Durchschlagen“ des Benzols (bzw. des Kampfstoffes) bezeichnet.

Als Waschflasche dient ein kleiner Erlenmeyerkolben mit doppelt durchbohrtem Stopfen, Gaszuleitungs- und Gasableitungsröhren, der mit benzolgetränkter Watte gefüllt ist. Man erreicht auf diese Weise ein gleichmäßigeres Brennen der Flamme, als wenn man den Wasserstoff durch flüssiges Benzol hindurchperlen läßt. Sollte das Durchschlagen zu lange auf sich warten lassen, so kann man den Kolben in warmes Wasser stellen, wodurch der Dampfdruck des Benzols und damit die Benzolkonzentration des Wasserstoffs erhöht wird.

Die aktive Kohle befindet sich in einem Röhrchen von etwa Reagenzglasdicke. Als sehr geeignet haben sich hierfür sog. Chlorcalciumröhrchen (gerade Form) bewährt. Vor das Ansatzrohr legt man zunächst ein Stückchen lose gezupfte Watte, schüttet dann die aktive Kohle hinein und verschließt das Röhrchen mit einem durchbohrten Korken, in dem ein zu einer Spitze ausgezogenes Glasröhrchen (bzw. Quarzröhrchen) steckt.

Das Durchschlagen tritt nach einigen Minuten ein. Wenn man es für vorteilhaft hält, kann man den ganzen Vorgang auch mit der Waage kontrollieren. 8 g aktive Kohle nahmen bis zum Durchschlagen (nach 10 Minuten) 1,83 g Benzol auf.

Ein wichtiger Faktor bei der Konstruktion von Gasmasken ist der Einbau eines Ausatemventils und die Stelle, an der es eingebaut wird (Näheres hierüber in Versuch 14). Geht ein Luftstrom, der von leicht kondensierbaren Gasen bzw. Dämpfen frei ist, über die schon teilweise oder ganz beladene aktive Kohle, so wird ein Teil der Dämpfe wieder abgegeben. Dieser sog. „Spüleffekt“ ist für die Leistungsdauer eines Atemfilters außerordentlich wichtig, und man hat Gelegenheit, dieses Verhalten der aktiven Kohle anschließend an den soeben beschriebenen Versuch zu studieren.

Die Waschflasche mit Benzol wird entfernt, und der Wasserstoff wird direkt über die mit Benzol beladene aktive Kohle geleitet. Nach dem Anzünden sieht man zunächst keine Veränderung gegen vorher, die Flamme ist immer noch leuchtend, das Benzol wird aus der aktiven Kohle wieder herausgespült. Nach und nach geht das Leuchten der Flamme zurück, bis schließlich die reine Flamme des Wasserstoffs übrig bleibt.

Man kann auch hierbei wieder die Gewichte feststellen. Bei dem oben angeführten Versuch ergab sich, daß von den 1,83 g des aufgenommenen Benzols 0,47 g innerhalb 5 Minuten mit einem kräftigen Wasserstoffstrom (Flammenhöhe 7 cm) wieder herausgespült werden konnten. Die mit Wasserstoff (Luft tut die gleichen Dienste!) ausgespülte aktive Kohle kann jetzt wieder neue Benzolmengen aufnehmen, die jedoch nicht über die vorher abgegebenen Mengen hinausgehen.

Für einen Schülerübungsversuch kann die Apparatur noch kleiner und einfacher sein. Statt der Waschflasche mit Benzol nimmt man ein gerades Glasröhrchen von 12 cm Länge und 7 bis 8 mm Außendurchmesser, das mit lose gezupfter Watte gefüllt ist. Auf diese Watte werden dann 1 bis 2 cm^3 Benzol getropft; das nicht aufgesaugte Benzol wird ausgeschleudert. Die aktive Kohle wird in ein rechtwinklig gebogenes Röhrchen von gleichem Durchmesser gefüllt. Der lange, offene Schenkel ist etwa 15 cm lang und wird nach dem Einfüllen der Kohle mit einem Flöckchen aufgelockerter Watte leicht verschlossen. Der kurze Schenkel von etwa 6 cm Länge ist zu einer Spitze ausgezogen. Beide Röhrchen werden durch einen kurzen Gummischlauch verbunden, so daß Glas an Glas stößt.

Der Wasserstoff muß bei Übungen in gleicher Front selbstverständlich mit Hilfe einer der bekannten Apparaturen aus Zink und Säure entwickelt werden. Die Knallgasprobe muß vor dem Anschließen des Wasserstoffentwicklers an die Röhrchen geschehen, sonst ist das Benzol schon durch die Kohle durchgeschlagen, bevor man das Flämmchen anstecken kann. Das Durchschlagen des Benzols und der Spüleffekt sind in ähnlicher Weise wie bei dem oben beschriebenen Versuch zu beobachten.

Versuch 5: Mit ganz wenig Aufwand an Mitteln läßt sich die Adsorptionswirkung der Holzkohle, jedoch nicht der Spüleffekt, zeigen, wenn man in eine kleine Porzellanschale von etwa 7 cm Durchmesser aktive Kohle schüttet und einige Kubikzentimeter Äther hinzufügt. Die Kohle wird mit einem Glasstab durcheinandergerührt;

es gelingt nicht, mit einem Streichholz den Inhalt der Schale zum Brennen zu bringen. Es ist zweckmäßig, parallel dazu den Versuch unter Benutzung des gleichen Volumens von gekörntem Bimsstein auszuführen. Beim Nähern eines brennenden Streichholzes verbrennt der Äther in diesem Falle mit heller Flamme. Der Versuch läßt sich auch dazu benutzen, um die Erwärmung der aktiven Kohle zu zeigen, die bei der Adsorption des Äthers eintritt. Man rührt dann die aktive Kohle statt mit einem Glasstabe mit einem Laboratoriumsthermometer um. Der Temperaturanstieg beträgt mehrere Grade.

Versuch 6: Eine etwas andere Ausführungsform für den vorhergehenden Versuch ist folgende. In eine Woulffsche Flasche von 3 l Inhalt mit 2 Hälsen bringt man etwa 3 cm^3 Äther und läßt diesen in der Flasche verdampfen. An die eine Öffnung wird mittels durchbohrten Gummistopfens, Glasrohr und Schlauch ein mit Quecksilber oder Wasser gefülltes Manometer angeschlossen. Die andere Öffnung wird mit einem durchbohrten Gummistopfen und kurzem, aber weitem Glasrohr verschlossen; mittels eines weiten Schlauches wird an das Glasrohr eine mit 20 bis 30 g aktiver Kohle gefüllte 50 cm^3-Kochflasche angeschlossen (der umgebördelte Rand des Kolbens muß abgesprengt werden). Der Schlauch, der das Kohlekölbchen mit der Woulffschen Flasche verbindet, wird zunächst noch mit einem Quetschhahn verschlossen gehalten bzw. umgeknickt. Läßt man durch Öffnen des Quetschhahnes die Kohle in das Ätherdampf-Luftgemisch fallen und schüttelt danach die Flasche einige Male kräftig um, so wird der Ätherdampf von der aktiven Kohle adsorbiert, und es entsteht ein erheblicher Unterdruck, der durch das Manometer angezeigt wird.

Versuch 7: Sehr eindrucksvoll läßt sich die Adsorption von Ätherdampf durch aktive Kohle zeigen, wenn man die von Toepler[1] zuerst angegebene Schlierenmethode benutzt: Tritt Ätherdampf in Luft ein, so ist damit eine Veränderung der optischen Dichte an dieser Stelle des Raumes verbunden; ein zuerst gerade verlaufender Lichtstrahl wird also im allgemeinen eine Ablenkung erfahren. Dies läßt sich in der Weise zeigen, daß man in einiger Entfernung vor einer Projektionswand eine möglichst punktförmige Lichtquelle aufstellt und zwischen Projektionswand und Lichtquelle die Vorrichtung stellt, die den Ätherdampf erzeugt. Als Lichtquelle eignet sich eine Punktlichtlampe oder eine der auf dem Schulmerkblatt Nr. 5[2] als Kleinkinolampen aufgeführten Lampenarten. Vor der Benutzung einer Kohlebogenlampe muß wegen der Entzündungsgefahr gewarnt werden.

Für den Versuch werden zwei Lampenzylinder für Gasstehlicht oder entsprechende Stücke von etwa 45 mm weitem Glasrohr benötigt, die auf der einen Seite mit einem Drahtnetz von etwa 100 Maschen je Quadratzentimeter zugebunden werden. Diese Zylinder werden mit dem Netz nach unten in Stative gespannt und mit einer 2 bis 3 cm hohen Schicht aktiver Kohle bzw. Bimskies gefüllt; sie werden so in den Lichtkegel gestellt, daß sie ein Schattenbild passender Größe auf dem Projektionsschirm erzeugen. Aus einer Flasche, die flüssigen Äther enthält, wird jetzt in einen der beiden Zylinder Ätherdampf gegossen. Man sieht im Schattenbild deutlich den aus der Flasche herausdringenden Ätherdampfstrahl; der mit Bimsstein gefüllte Zylinder läßt den Ätherdampf am unteren Ende wieder herausfließen, während diese Erscheinung bei dem mit aktiver Kohle gefüllten Zylinder nicht zu beobachten ist, ein Beweis dafür, daß der Ätherdampf von der aktiven Kohle festgehalten wird.

III. Versuche mit chemischen Absorptionsmitteln.

Es kommt zunächst darauf an zu zeigen, daß aktive Kohle kein Universalmittel ist, um giftige Gase und Dämpfe unschädlich zu machen. Von den verschiedenen

[1] A. Toepler: Optische Studien nach der Methode der Schlierenbeobachtung. Pogg. Ann. **131**, 38 (1867); vgl. auch Rosenberg: Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre, 3. Aufl., Bd. 2, S. 431 f.

[2] Das Merkblatt ist durch die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Berlin NW 40, Invalidenstr. 57/62, kostenlos zu beziehen.

Gasen werden nämlich um so größere Mengen durch aktive Kohle adsorbiert, je niedriger der Dampfdruck des betreffenden Gases im flüssigen Zustand ist, bezogen auf gleiche Temperatur. Um diesen Tatbestand an einem Beispiel zu zeigen, dient folgender

Versuch 8: Ein Chlorwasserstoff-Luftgemisch wird über aktive Kohle geleitet; eine Adsorption ist kaum feststellbar. Zur Herstellung des Chlorwasserstoff-Luftgemisches dient eine Waschflasche, die mit konzentrierter Salzsäure ($D = 1{,}19$) gefüllt ist; beim Hindurchleiten von Luft (Wasserstrahlpumpe, kleiner Blasebalg, Gassammelflasche) wird HCl in genügender Menge von der Luft mit fortgeführt. Die aktive Kohle befindet sich in einem Chlorcalciumröhrchen (siehe Versuch 4). Der Nachweis des ausströmenden Chlorwasserstoffs geschieht durch Vorhalten eines kleinen, mit Salmiakgeist getränkten Wattebausches vor das Ausströmungsrohr. Der Nachweis durch die NH_4Cl-Nebelbildung hat den Vorzug gegenüber dem Nachweis mit Farbindikatoren, daß er sich nicht nur auf einen Augenblick beschränkt, sondern daß man das fortlaufende Ausströmen von HCl an der immer neuen Nebelbildung erkennen kann.

Versuch 9: Der gleiche Versuch wird wiederholt mit gekörntem Natronkalk statt der Kohle. Bei langsamem Durchblasen des Chlorwasserstoff-Luftstromes wird zunächst der ganze Chlorwasserstoff chemisch gebunden; das Natronkalk-Rohr erwärmt sich dabei. Schließlich schlägt Chlorwasserstoff durch das Filter durch, erkennbar an der Nebelbildung. Wird die Salzsäure-Waschflasche aus der Apparatur entfernt und reine Luft über den verbrauchten Natronkalk geleitet, so wird kein Chlorwasserstoff aus dem Filter herausgespült. Bei den chemisch wirkenden Filtern besteht kein Spüleffekt wie bei der Kohle.

Der gleiche Versuch läßt sich mit Bimskies, der mit Pottasche- oder Sodalösung getränkt ist, ausführen. Das Tränken des Bimssteins mit der gesättigten Lösung geschieht zweckmäßig unter Anwendung von Vakuum. Die gesättigte Lösung wird zusammen mit einer passenden Menge grob zerkleinerten und abgesiebten Bimssteins in eine Pulverflasche gebracht; die Flasche wird mit durchbohrtem Stopfen und Ableitungsrohr verschlossen und dann an der Wasserstrahlpumpe evakuiert. Dabei wird die Luft aus den Poren des Bimssteins herausgesaugt, und beim Wiederherstellen des Atmosphärendrucks dringt dann die Lösung in diese Poren hinein. Um die in der Gasmaske sich abspielenden Vorgänge möglichst ähnlich nachzuahmen, wird der mit der Lösung behandelte Bimskies getrocknet.

Versuch 10: Für industrielle Zwecke (z. B. in der Kälteindustrie) ist es wichtig, Gasmaskeneinsätze zu besitzen, die gegen Ammoniak schützen. Das hierfür benutzte Absorptionsmittel ist Kupfersulfat. Bimskies wird in der bei Versuch 9 beschriebenen Weise mit gesättigter Kupfersulfatlösung getränkt und dann an der Luft oder im Trockenschrank getrocknet. Der Kristallwassergehalt des im Bimsstein niedergeschlagenen Kupfersulfats hat auf dessen Absorptionswirkung kaum einen Einfluß, eine geringe Verschiedenheit zeigen nur die Reaktionsprodukte, die jedoch in allen Fällen eine dunkellasurblaue bis blauviolette Färbung haben ($CuSO_4$, $5\,NH_3$ bzw. $CuSO_4$, $4\,NH_3$, H_2O bzw. $CuSO_4$, $2\,NH_3$, $3\,H_2O$).

Das Ammoniak-Luftgemisch wird hergestellt, indem Luft durch etwa 3%ige Ammoniaklösung gesaugt oder geblasen wird. Der Nachweis wird durch Nebelbildung mit konzentrierter Salzsäure geführt. Das Fortschreiten der Reaktion läßt sich gut am Kupfersulfat-Bimskies verfolgen, der sich Zentimeter für Zentimeter kräftig blau färbt. Ein Spüleffekt durch reine Luft ist nicht nachweisbar.

Als Schülerübungsversuch lassen sich dieser und andere Versuche in der Weise ausführen, daß alle zur Anwendung kommenden Lösungen auf Bimsstein gebracht werden, der sich in Chlorcalciumröhrchen (siehe Versuch 4) befindet. Für diesen Versuch werden dann 3 derartige Röhrchen zusammengesteckt, und die Luft wird mit dem Munde hindurchgeblasen; im ersten Röhrchen befindet sich 3%iger Salmiakgeist auf Bimsstein, im zweiten Kupfersulfat-Bimskies, im dritten etwa 25%ige Salzsäure (2 Vol.

Salzsäure $D = 1{,}19 + 1$ Vol. Wasser) auf Bimsstein. Das Durchblasen muß vorsichtig geschehen, sonst schlägt der „Kampfstoff" zu schnell durch. Als Gegensatz zu diesem Versuch kann das mittlere Rohr entfernt und die beiden äußeren zusammengesteckt werden mit dem Erfolg, daß dicke Nebelschwaden beim Durchblasen auftreten.

Versuch 11: Ein Versuch, der historische Bedeutung besitzt, ist die Absorption von Chlorgas. Am 22. 4. 1915 geschah bei Ypern der erste wirksame Gasangriff des Weltkrieges mit Chlor, das nach dem Blasverfahren in die feindliche Stellung getrieben wurde. Unsere Gegner, die zunächst völlig überrumpelt waren, hatten wenige Tage später einen Atemschutz gegen Chlorangriffe gefunden, der in einem Mullpäckchen bestand, das mit einer Lösung von Natriumthiosulfat und Soda getränkt war. In den späteren Gasmasken wurde allerdings aus technischen Gründen kein Thiosulfat mehr verwendet.

Ein Luft-Chlor-Gemisch wird hergestellt, indem Luft durch Chlorwasser hindurchgesaugt wird. In einem Absorptionsröhrchen befindet sich Bimsstein, der mit einer Lösung von 20 g calcinierter Soda und 12 g kristallisiertem Natriumthiosulfat in 100 cm^3 Wasser getränkt ist. Der Chlor-Luftstrom, der das Absorptionsröhrchen passiert hat, wird in eine verdünnte Lösung von Jodkaliumstärkekleister geleitet. Einige Zeit bleibt die Lösung farblos, bis schließlich die Blaufärbung infolge des Durchschlagens von Chlor eintritt. Ein Gegenversuch ohne Absorptionsrohr läßt deutlich die Wirksamkeit der Chemikalien erkennen.

IV. Katalytische Verbrennung von Kohlenoxyd.

Versuch 12: Eine besondere Stellung unter den Atemgiften nimmt das Kohlenoxyd ein, da es sich nicht wie andere Gase an aktive Kohle oder feste Chemikalien binden läßt. Für die Vernichtung des Kohlenoxyds wird daher der Weg gewählt, daß es mit dem meist im großen Überschuß vorhandenen Sauerstoff der Luft zusammen zu Kohlendioxyd umgesetzt wird. Die Reaktion geschieht bei gewöhnlicher Temperatur, wenn ein Katalysator, bestehend aus Mangandioxyd und Kupferoxyd, zur Anwendung kommt. Dieser Katalysator wird in den Filterbüchsen verwendet, die zur Entgiftung der Atemluft bei geringeren Kohlenoxyd-Konzentrationen dienen. Bei höheren Konzentrationen an Kohlenoxyd muß wegen Sauerstoffmangels zum Sauerstoffgerät gegriffen werden. Der Katalysator wird von der Degea A.G. (Auer) hergestellt und führt dort die Bezeichnung „Aktivmasse".

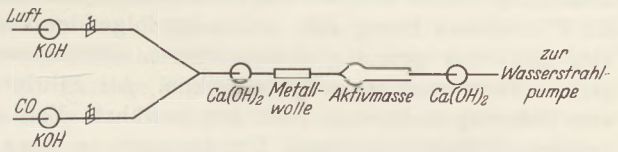


Fig. 1. Katalytische Verbrennung von Kohlenoxyd.

Um die Wirkung des Katalysators zu zeigen, leite ich ein Kohlenoxyd-Luft-Gemisch, das durch Waschen mit Kalilauge von Kohlendioxyd befreit worden ist, über Aktivmasse und zeige, daß sich dabei Kohlendioxyd bildet. Als Indikator für Kohlendioxyd dient Kalkwasser; auch vor das Reaktionsrohr schalte ich eine Waschflasche mit Kalkwasser, um ganz deutlich zu zeigen, daß in dem Gasgemisch zunächst noch kein Kohlendioxyd enthalten ist. Der Aufbau der Apparatur geht aus der Fig. 1 hervor. An Stelle von Kohlenoxyd kann auch Leuchtgas genommen werden. Die Quetschhähne werden so eingestellt, daß viel Luft und wenig Kohlenoxyd eingesaugt wird; läßt man unverdünntes Kohlenoxyd oder Leuchtgas durch die Aktivmasse hindurchströmen, so gibt der Katalysator unter Aufglühen Sauerstoff ab und wird dann bei der Reaktion verbraucht. Das Aufglühen tritt gleichfalls ein, wenn dem Kohlenoxyd zu wenig Luft beigemischt ist; das in der Figur gezeichnete Rohr mit Metallwolle (z. B. Eisen, Kupfer) hat den Zweck, Rückzündungen des u. U. explosiven Gemisches zu verhindern[1].

[1] O. Ohmann: Die Unfallverhütung im chemischen und physikalischen Unterricht, 3. Aufl., S. 78.

V. Erzeugung von Schwebstoffen und deren Filtration.

Versuch 13: a) Erzeugung von NH_4Cl-Nebeln.

Zwei mit Bimskies gefüllte Absorptionsröhrchen werden hintereinandergeschaltet; das erste enthält etwa 25- bis 30%ige Salzsäure im Bimsstein aufgesaugt, das zweite Salmiakgeist ($D = 0{,}91$). Beim Hindurchblasen durch die Röhrchen entstehen dichte Nebel von NH_4Cl.

b) Erzeugung von P_2O_5-Nebeln. Ein 500 cm^3-Erlenmeyerkolben wird mit einem dreifach durchbohrten Stopfen verschlossen. Die erste Bohrung trägt einen eisernen „Phosphorlöffel", in die zweite und dritte Bohrung sind rechtwinklig gebogene Glasröhren eingesetzt. In dem Phosphorlöffel wird etwas weißer oder roter Phosphor zur Entzündung gebracht; der Löffel wird in den Kolben, dessen Boden etwa 1 cm hoch mit Wasser bedeckt ist, eingesenkt. Der Kolben füllt sich mit weißem Rauch[1], der abgesaugt oder herausgeblasen werden kann.

c) Erzeugung von SO_3-Nebeln. Rauchende Schwefelsäure wird auf gebrannten Kalk getropft; durch die dabei entstehende Reaktionswärme wird das Schwefeltrioxyd verdampft, das zusammen mit der immer vorhandenen Luftfeuchtigkeit dichte Nebel bildet. Die Reaktion wird in einem Erlenmeyerkolben vorgenommen. Auf einer 1 cm hohen Sandschicht liegt eine 1 bis 2 cm hohe Schicht von gebranntem Kalk (Erbsen-, Haselnußgröße). Aus einem Tropftrichter läßt man Tropfen für Tropfen rauchende Schwefelsäure auf den Kalk fließen. Die gebildeten Nebel werden abgesaugt bzw. abgeblasen.

Versuch 14: Die Befreiung eines Luftstromes von Schwebstoffen kann weder durch aktive Kohle noch durch Wasser oder irgendwelche Chemikalien erfolgen. Entsprechende negative Versuche werden jedoch im Unterricht angestellt werden müssen. Die einzige in der Gasmaske mögliche Vernichtung der Schwebstoffe beruht auf ihrer Absiebung durch mehrere Lagen Filtrierpapier oder dicke Zellstoff-Filter. Man kann die Filtrationswirkung sehr schön mit folgender Vorrichtung zeigen. Zwei Glastrichter von möglichst genau gleichem oberen Durchmesser (6 bis 7 cm) werden gebraucht, grobes Filtrierpapier und Syndetikon. Als Filtrierpapier hat sich die billigste Sorte von Schering-Kahlbaum sehr gut bewährt. Von diesem Papier schneidet man sich kreisrunde Scheiben, deren Durchmesser um etwa ½ bis 1 cm größer ist als der der Trichter. Mittels des Syndetikons werden 5 Scheiben am Rande dicht aufeinandergeklebt und gleichfalls mit Syndetikon zwischen den Trichtern befestigt. Nach 1- bis 2stündigem Trocknen wird vorsichtig noch ein Faden Syndetikon an den äußeren Fugen zwischen Glas und Papier aufgelegt. Nach 24 Stunden ist das Schwebstoff-Filter benutzbar.

Eine schwebstoffhaltige Luft, die durch das Filter gesaugt oder geblasen wird, wird gut entnebelt; in den beiden Filterhälften stehen sich der weiße Nebel und die klare Luft deutlich gegenüber. Zur Sichtbarmachung des Gasstromes können vor und hinter das Filter Waschflaschen, die mit Wasser gefüllt sind, geschaltet werden. Auch Absorptionsröhrchen mit aktiver Kohle oder Chemikalien auf Bimsstein können in den schwebstoffhaltigen Luftstrom eingeschaltet werden, ohne daß sie die Konzentration des Nebels merklich herabsetzen.

Die Erschöpfung eines Schwebstoff-Filters macht sich nicht durch ein Durchschlagen des Nebels bemerkbar, sondern durch eine Verstopfung des Filters; dementsprechend wird der Atemwiderstand erhöht. Da Schwebstoff-Teilchen, die einmal von den Poren des Filtrierpapiers zurückgehalten wurden, kaum durch einen entgegengesetzt gerichteten Luftstrom wieder herausgespült werden können, bewirkt bei dieser Art von Filtern kein Spüleffekt eine Verlängerung ihrer Benutzungsdauer. Deshalb wird in einer Art von Gasmaskeneinsätzen, die mit einem Schwebstoff-Filter versehen

[1] Auf eine feinere Unterscheidung zwischen Rauchen und Nebeln wurde verzichtet, da in vielen Fällen nicht feststeht, wieviel Feuchtigkeit in der Luft vorhanden ist und ob sich daher Rauche oder Nebel bilden.

sind, ein etwa vorhandenes Ausatemventil zwischen Schwebstoff-Filter und Kohle-Chemikalienschicht eingefügt; auf diese Weise wird der Spüleffekt bei der aktiven Kohle ausgenutzt, der Ausatemwiderstand jedoch möglichst niedrig gehalten (s. Versuch 4).

Um die allmähliche Verstopfung eines Schwebstoff-Filters verfolgen zu können, wird folgender Versuch ausgeführt (s. Fig. 2). Ein schwebstoffhaltiger Luftstrom wird mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe durch ein Schwebstoff-Filter gesaugt. Die Druckdifferenz auf beiden Seiten des Filters wird mit Hilfe eines angeschlossenen U-Rohres gemessen, das mit Wasser gefüllt ist. Die Geschwindigkeit des Luftstroms wird dadurch einreguliert, daß auf den von der Pumpe kommenden Schlauch ein Quetschhahn aufgesetzt wird; der Wasserhahn muß vollständig geöffnet sein. (Eine Regulierung der Geschwindigkeit des Luftstroms durch Einschalten eines T-Stückes und Einsaugen von Nebenluft ist hier nicht vorteilhaft, weil in dem Augenblick, wo der Widerstand des Filters wächst, weniger Luft durch das Filter gesaugt wird, so daß die steigende Druckdifferenz bei gleichbleibendem Luftstrom durch das Zurückgehen der durchgesaugten Luftmenge wieder ausgeglichen wird. Der gewünschte Effekt ist nur bei einer Drosselung des Luftstromes zu beobachten.) Besonders schön ist der Vorgang zu beobachten, wenn die nach Versuch 13c hergestellten SO_3-Nebel benutzt werden.

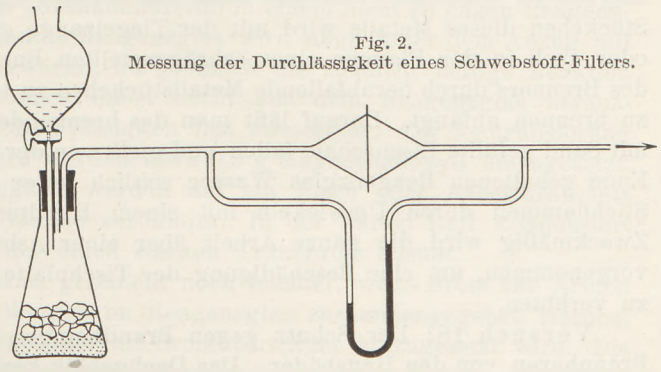


Fig. 2.
Messung der Durchlässigkeit eines Schwebstoff-Filters.

Versuch 15: Der Grund für die schlechte Absorption von Schwebstoffen durch aktive Kohle oder Chemikalien ist die geringe Eigenbewegung der Schwebstoffteilchen im Gegensatz zu der schnellen Bewegung der Gasmoleküle. Um diese zu demonstrieren, eignen sich die bekannten Versuche mit Gummigutt bzw. Zinnober (Tuschkastenfarbe). Eine Aufschlämmung dieser Stoffe in Wasser wird unter dem Mikroskop beobachtet, und dabei zeigen die einzelnen Teilchen eine hin- und hergehende Bewegung, deren Lebhaftigkeit von der Größe der Teilchen abhängig ist.

VI. Versuche mit Elektronmetall und Thermit.

In künftigen Kriegen wird die Elektron-Thermit-Brandbombe zur Anzündung von Hausböden in Städten und Industriezentren eine große Rolle spielen.

Versuch 16: Es werden 1 Gewichtsteil Aluminiumgrieß und 3 Gewichtsteile pulverförmiges Eisenoxyd (Fe_2O_3) zusammengemischt. Dieses Gemisch wird in eine tiegelförmige Sandgrube (im Freien) eingestampft; der Sand kann leicht angefeuchtet sein, damit er sich formen läßt. Zwischen das Thermitgemisch werden Brocken von Elektronmetall eingebettet, besonders in den unteren Schichten. (Elektronmetallabfall kann man in größeren Automobilreparaturwerkstätten erhalten.) Mit einem Glas- oder Holzstab wird in die Mitte des Brandsatzes ein senkrechter Gang gestochen, der mit einem Entzündungsgemisch gefüllt wird; dieses besteht aus 2 Gewichtsteilen Magnesiumpulver und 15 Gewichtsteilen Bariumsuperoxyd (Vorsicht! explosionsfähig, daher nicht stark verreiben, sondern auf einem Bogen Papier zusammenmischen!). Ein Überschuß an Entzündungsgemisch wird auf die Oberfläche des Brandsatzes verteilt. Das Anzünden muß sehr vorsichtig aus einiger Entfernung (Schutzbrille!) geschehen; es kann ein Streifen Magnesiumband oder ein Sturmstreichholz zu Hilfe genommen werden. Ganz ohne Entzündungsgemisch kommt man aus, wenn man eine der zu Weihnachten viel verkauften „Magnesia-Wunderkerzen“ brennend auf den Brandsatz legt; die Entzündung wird erleichtert, wenn auf den Brandsatz an der Stelle, wo die „Wunderkerze“ abbrennen soll, etwas Kaliumchlorat gebracht wird.

Wenn der Brandsatz die Höhe seiner Reaktion erreicht hat, gießt man Wasser aus einer Gießkanne mit Brause auf die teilweise herausgeschleuderten, brennenden Elektronmetallstücke, um zu zeigen, daß die Reaktion durch Wasser nur noch heftiger wird. Wird über die Vertiefung jedoch trockener Sand geschüttet, so kommt die Reaktion zwar nicht zum Stillstand, jedoch können sich keine Stichflammen mehr bilden. Das Arbeiten an dem brennenden Brandsatz hat mit der größten Vorsicht zu geschehen, da häufig kleinere Stücke Elektronmetall aus dem Tiegel herausgeschleudert werden; die Schutzbrille darf während des Brennens nicht abgelegt werden; die Schüler sind in mindestens 5 m Entfernung zu halten.

Versuch 17: Die Wirkungsweise des Elektronmetalls (aus mindestens 90% Magnesium bestehend) läßt sich auch durch einen Laboratoriumsversuch zeigen. Ein Stückchen dieses Metalls wird mit der Tiegelzange gefaßt und in der Gebläseflamme oder auch in der Flamme eines schräggestellten Bunsenbrenners (um Verschmutzung des Brenners durch herabfallende Metallstückchen zu vermeiden) erhitzt, bis es deutlich zu brennen anfängt. Darauf läßt man das brennende Metall in eine daruntergestellte, mit Sand gefüllte Eisenschale fallen und gießt von der Seite her aus einem am unteren Ende gehaltenen Reagenzglas Wasser seitlich unter das Metall. Die Hand muß vor Stichflammen durch Umwickeln mit einem Handtuch oder dgl. geschützt werden. Zweckmäßig wird die ganze Arbeit über einer Asbestplatte oder einem Emailteller vorgenommen, um eine Beschädigung der Tischplatte durch brennendes Metall sicher zu verhüten.

Versuch 18: Der Schutz gegen Brandbomben besteht in der Entfernung alles Brennbaren von den Hausböden. Das Dachgebälk kann durch einen Anstrich bzw. eine Imprägnierung (möglichst vor dem Einbau) mit einem Flammschutzmittel so vorbereitet werden, daß sich das Feuer nicht weiter ausdehnt. Die käuflichen Flammschutzmittel bestehen meist aus einem Gemisch verschiedener Salze, die teils die Aufgabe haben, bei der Erwärmung Gase abzuspalten, die eine Verbrennung nicht unterhalten, teils die brennbaren Stoffe mit einer Schicht geschmolzenen Salzes zu bedecken. Ein Gemisch, das diese beiden Bestandteile gut erkennen läßt, besteht aus 10 g Ammoniumphosphat und 1 g Borsäure, die in 100 g Wasser gelöst werden.

Mit dieser Lösung wird Holzwolle unter Anwendung des Vakuums (s. Versuch 9) getränkt und nach dem Abtropfen an der Luft (über einem Heizkörper) getrocknet. Wird die getrocknete, imprägnierte Holzwolle mit einer Tiegelzange in die Bunsenflamme gehalten, so werden weiße Nebel von der Holzwolle abgegeben; die Holzwolle verkohlt und verglimmt schließlich, jedoch erlischt das Glimmen sofort, wenn der Brenner entfernt wird.

Im Zusammenhang mit der Brandbekämpfung kann auch auf die Wirkungsweise der Feuerlöscher eingegangen werden. Ein Modell eines Minimax-Feuerlöschers hat H. Römisch in dieser Zeitschrift 46, 165 (1933) beschrieben.

Versuch 19: Der Atemschutz mit Gasfiltern ist nur dann anwendbar, wenn genügend Sauerstoff in der Atmosphäre vorhanden ist, um die Atmung zu ermöglichen. Bei Sauerstoffmangel muß, wenn die Verbindung mit der Außenluft nicht durch einen Schlauch oder dgl. hergestellt werden kann, zum Sauerstoffschutzgerät gegriffen werden. Weitaus die meisten Sauerstoffgeräte haben den Sauerstoff in verdichteter Form in Stahlflaschen gespeichert. Andere Geräte enthalten Sauerstoff, der an Chemikalien gebunden ist und durch die Kohlensäure und den Wasserdampf der Ausatemluft aus diesen befreit wird. Natriumsuperoxyd ist eine der Substanzen, die zur Anwendung kommen. Trockenes Kohlendioxyd wirkt auf trockenes Natriumsuperoxyd bei gewöhnlicher Temperatur nicht ein, dagegen tritt eine lebhafte Sauerstoffentwicklung ein, wenn Wasser auf Natriumsuperoxyd getropft wird.

Der Versuch läßt sich auch so ausführen, daß etwas Natriumsuperoxyd vorsichtig unter guter Kühlung in Wasser eingetragen wird; hierbei bildet sich dann nur Wasserstoffsuperoxyd und Natronlauge. Leitet man in diese Lösung Kohlendioxyd ein, so

verbindet sich dieses mit dem Natriumhydroxyd zu Soda, und durch die dabei eintretende Erwärmung wird aus dem Wasserstoffsuperoxyd Sauerstoff abgespalten.

VII. Herstellung eines Reizstoffes.

Versuch 20: Als Reizstoff eignet sich sowohl aus methodischen Gründen wie wegen seiner verhältnismäßigen Harmlosigkeit das Bromaceton, das als B-Stoff für die Dichtigkeitsprüfung der Heeresgasmasken verwendet wurde. Bromaceton entsteht bei der Bromierung von Aceton nach der Gleichung:

$$CH_3 \cdot CO \cdot CH_3 + Br_2 = CH_2Br \cdot CO \cdot CH_3 + HBr.$$

Zunächst werden 5 cm³ Aceton mit 2 cm³ Wasser versetzt. Von dieser Mischung werden 1,4 cm³ mit 0,8 cm³ Brom (aus einer Glashahnbürette) in einem nicht zu engen Reagenzglas versetzt. Das schräg eingespannte Reagenzglas wird dann unter dem Abzug mit ganz kleiner Flamme vorsichtig erwärmt, bis plötzlich die ziemlich heftige Reaktion einsetzt; Teile der Flüssigkeit können dabei leicht aus dem Reagenzglas herausgeschleudert werden. Danach ist die Flüssigkeit fast wasserklar. Zur Neutralisierung der gebildeten Bromwasserstoffsäure werden etwa 0,3 g Magnesiumoxyd hinzugesetzt. Einige Tropfen der trüben Flüssigkeit werden auf ein Blech oder Asbestdrahtnetz gebracht und durch eine kleine Flamme verdampft. In der kalten Luft kondensiert sich der Dampf zu einem Nebel, der einen starken Tränenreiz ausübt.

Die Herstellung des Bromacetons geschieht noch leichter, wenn Brom und Aceton mit Wasser in den angegebenen Mengen im Reagenzglas zusammengegeben werden, und wenn dann eine Spur roter Phosphor als Bromüberträger hinzugesetzt wird. Die Umsetzung findet dann augenblicklich statt, ohne daß Wärme von außen zugeführt werden muß. Die Neutralisation der gebildeten Bromwasserstoffsäure geschieht nach der Abkühlung des Reaktionsgemisches durch grob zerkleinerten (nicht pulverisierten) Marmor.

Kommt es nur darauf an, die Wirkung eines Reizstoffes vorzuführen, so kann man fertiges Chloracetophenon von Schering-Kahlbaum beziehen. Einige Kriställchen werden auf eine heiße (nicht glühende) Unterlage gebracht und verwandeln sich dabei in einen weißlichen Rauch, der ähnlich wie Bromaceton wirkt.

Kleine Mitteilungen.

Momentaufnahme von Flüssigkeitsstrahlen.

Von **Ad. Adler** in Bad Driburg (Westf.).

1. Die Versuchsanordnung.

Zur Momentphotographie von Flüssigkeitsstrahlen hat CHICHESTER BELL das Verfahren angegeben, mit dem Funken einer Leidener Flasche ein Schattenbild des Strahles auf eine photographische Platte zu werfen[1]. Man erhält auf diese Weise jedesmal nur einen einzelnen Moment. FR. C. G. MÜLLER nennt diese Aufnahmen „das überraschendste Beispiel der Momentphotographie, das man den Schülern nicht vorenthalten solle". Um so mehr dürfte das gelten von Aufnahmen, die auch die Veränderungen des Strahles festhalten und sein Antlitz in unmittelbar aufeinanderfolgenden Momenten wiedergeben. Die Versuchsanordnung, die ich hierzu benutze, gebe ich in Fig. 1 wieder.

B ist eine kleine Bogenlampe (4 bis 5 Amp.) mit Kondensorlinse in einer Kiste befindlich. Letztere ist gegebenenfalls noch mit einem Tuch verhängt, um schädliches Licht von der Platte fernzuhalten. Durch einen horizontalen, in Zinkblech geschnittenen Spalt *S* von 1×40 mm tritt das Licht parallel aus. Die Linse *L* von etwa 25 cm Brennweite bildet den Spalt *S* über einen um eine horizontale Achse rotierenden

[1] C. V. BOYS: Seifenblasen. Leipzig 1913. S. 139. — FRIEDR. C. G. MÜLLER: Technik des physikalischen Unterr., Berlin 1926. S. 124. — W. VOLKMANN: Diese Zeitschr. 36, 110 (1923).

Drehspiegel D auf eine photographische Platte P ab. Die Kassette mit der photographischen Platte gleitet in einem Rahmen von 1,20 m Länge, dessen Vorderseite mit Zinkblech abgeschlossen ist. In der Mitte des Rahmens befindet sich ein in weiten Grenzen veränderlicher, vertikaler Spalt, gebildet aus 2 Blechstücken, die in einem Falz verschiebbar sind. Vor diesem Spalt fließt der Strahl. Der Lichtstrahl geht auf dem Wege zum Drehspiegel neben dem Flüssigkeitsstrahl vorbei. Der Drehspiegel wird durch einen kleinen Motor M getrieben, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit mit Hilfe eines Regulierwiderstandes geändert werden kann. Klebt man auf die Stirnseite des Drehspiegels eine stroboskopische Scheibe mit 12, 6, 4, 3 Sektoren, beleuchtet mit einer Wechselstromglimmlampe (50 Per.), so gehen beim Stillstehen des entsprechenden Sternes von einem sechsseitigen Spiegel 50, 100, 150, 200 Lichtblitze aus. Sie überstreichen den Flüssigkeitsstrahl und werfen sein Schattenbild auf die Platte bzw. den Schirm. Wird die Platte entsprechend rasch vorbeigezogen, so wirft jeder folgende Lichtblitz das Bild auf eine andere noch unbelichtete Stelle, so daß die Schattenbilder nebeneinander auf die Platte zu stehen kommen. Wird die Platte in der Zeit zwischen zwei Lichtblitzen gerade um Spaltbreite vorbeigezogen, so reihen sich die Spaltbilder unmittelbar nebeneinander; wird sie um mehr als Spaltbreite vorbeigezogen, so sind die Spaltbilder auf der Kopie durch einen schwarzen (unbelichteten) Streifen getrennt; wird sie um weniger als Spaltbreite vorbeigezogen, so überlagern sich die Ränder und ergeben infolge doppelter Belichtung einen weißen Streifen. Vorversuche und subjektive Beobachtungen können gut bei gedämpftem weißen Licht gemacht werden. Der Drehspiegel wird dabei vorteilhaft, verhältnismäßig langsam, mit der Hand gedreht. Die Aufnahmen erfolgen natürlich nur bei rotem Licht. Die Bogenlampe zündet man an, nachdem die Platte in den Rahmen geschoben ist.

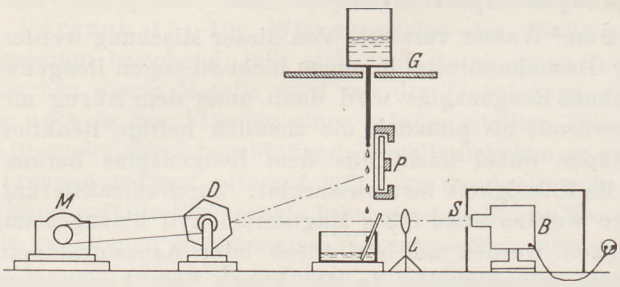


Fig. 1.
Versuchsanordnung zur Momentaufnahme von Flüssigkeitsstrahlen.

Fig. 2.
Beruhiger.

Die Kassette, die ich benutze, ist nichts anderes als ein Holzrahmen mit rückseitigem Abschluß von solcher Größe, daß darin zwei Platten 13×18 cm nebeneinander Platz haben. Das eine Feld, über das ein Blatt weißes Papier und darüber eine Glasscheibe gelegt ist, dient als Schirm bei den Vorversuchen und Beobachtungen. Das andere Feld nimmt die photographische Platte auf. Bei Aufnahmen mit kleineren Platten werden Einlagen zu Hilfe genommen.

Den Wasserstrahl kann man aus einer Glasröhre fließen lassen, die mit einem Schlauch an eine Klärflasche angeschlossen ist. Für manche Versuche, wie sie z. B. weiter unten angeführt werden, benutze ich jedoch 25 cm hohe, kreisförmige Blechgefäße von 16 cm Durchmesser mit der Ausflußöffnung in der Mitte des Bodens. Der Boden muß vollständig eben sein zur Vermeidung einer wirbelnden und ungleichmäßigen Strömung. Zu demselben Zwecke stelle ich in das Gefäß auch einen Beruhiger (Fig. 2). Ohne diesen Beruhiger nimmt der runde Strahl leicht eine schraubenförmige Gestalt an, verursacht durch eine Wirbelbewegung des Wassers. Das Gestell G — die Füße sind in der Figur der Übersicht wegen weggelassen — wird mit der Wasserwaage horizontal gestellt, um ein zur Ebene der Ausflußöffnung senkrechtes Ausfließen zu sichern.

Bei Versuchen, die eine große Spaltbreite erfordern, wie z. B. bei Fig. 6, benutze ich anstatt des Drehspiegels einen einseitig belegten, ebenfalls um eine horizontale Achse drehbaren Klappspiegel (4×8 cm). Vor der Belichtung ist die spiegelnde Fläche nach unten gekehrt, und der von der Bogenlampe kommende Lichtstreif geht

gerade über den Rücken des Spiegels hinweg. Durch Umklappen des Spiegels um 180° mit Hilfe eines am Ende der Achse befindlichen Knopfes wird der Lichtstreifen von der spiegelnden Fläche aufgefangen und über die ruhende photographische Platte geworfen. Das Überschreiten des Drehwinkels wird durch einen Anschlag verhindert. Es sind auf diese Weise natürlich nur Einzelmomentaufnahmen möglich.

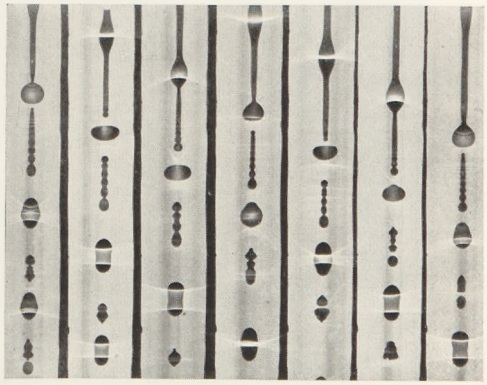


Fig. 3. Aufeinanderfolgende Momentaufnahmen eines 5 mm dicken Wasserstrahls.

2. Tropfenbildung beim natürlichen Strahl.

Unter einem natürlichen Strahl verstehe ich einen solchen, der durch keinerlei äußere Kräfte beeinflußt ist. Ein aus einer kreisförmigen Öffnung fließender Strahl ist zunächst glatt. Die Oberflächenspannung bewirkt jedoch bald kleine, für das Auge nicht wahrnehmbare Einschnürungen, von denen Lord RAYLEIGH nachgewiesen hat, daß ihre Tiefe bei einem Wasserstrahl von 1 mm Durchmesser in $^1/_{40}$ Sek. auf das Tausendfache anwächst[1]. Diese Einschnürungen führen notwendig zum Zerfall des Strahles in Tropfen. Am leichtesten zerfällt der Strahl, wenn die Einschnürungen, seien sie natürlich entstanden oder künstlich erzeugt, in einem Abstand von 4,5 Durchmessern des Strahles erfolgen.

Infolge der raschen Bewegung bleibt die wahre Struktur des zerfallenden und zerfallenen Strahles dem gewöhnlichen Auge verborgen. Die oben beschriebene Anordnung ermöglicht eine gute subjektive Beobachtung und eine die kleinsten Einzelheiten wiedergebende photographische Aufnahme der wirklichen Gestalt des Strahles. Fig. 3 zeigt einen aus einer 5 mm weiten Glasröhre ausgeflossenen Wasserstrahl gerade an seiner Auflösungsstelle. Unwillkürlich lenken die Fäden zwischen zwei Haupttropfen die Aufmerksamkeit auf sich. Gerade an ihnen zeigt sich in bewundernswerter Weise die wirkende Kraft der Oberflächenspannung, indem sie aus ihnen so überraschend regelmäßige Gestalten formt. Fig. 4 zeigt einen aus einer dreieckigen, Fig. 5 einen aus einer kreuzförmigen Öffnung geflossenen Wasserstrahl (Verwendung der Blechgefäße) und endlich Fig. 6 einen aufwärts gerichteten Strahl.

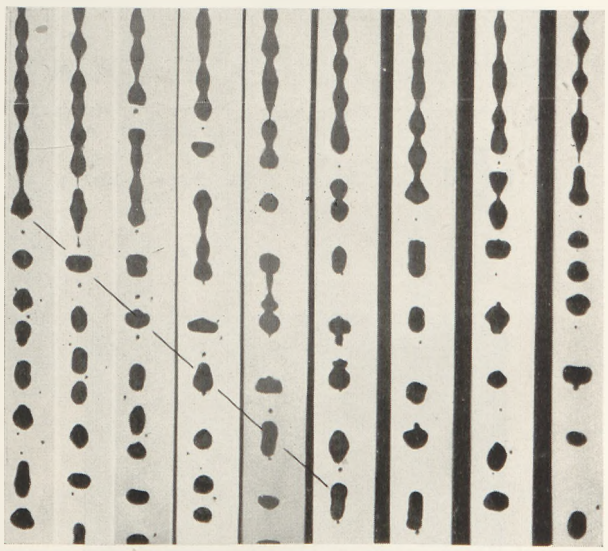


Fig. 4. Momentaufnahmen eines aus einer dreieckigen Öffnung ausgeflossenen Wasserstrahls.
▲ Ausflußöffnung in natürlicher Größe.

Die Aufnahme über die Bildung eines einzigen Tropfens in 30 Momentbildern (Fig. 7) erfolgte mit einer längeren Kassette, die 4 Platten 9 × 12 cm enthielt. Der Tropfen trat aus einem TRAUBEschen Stalagmometer[2] bei Verwendung der kürzesten Aufsatzkapillare und gefüllter oberster Kugel mit einer Tropfgeschwindigkeit von 5 Tropfen in der Sekunde. Es war eine rasche Tropfenfolge gewählt worden, da

[1] BOYS-MEYER: Seifenblasen. Leipzig 1913. S. 45. [2] Siehe diese Zeitschr. 44, 66 (1931).

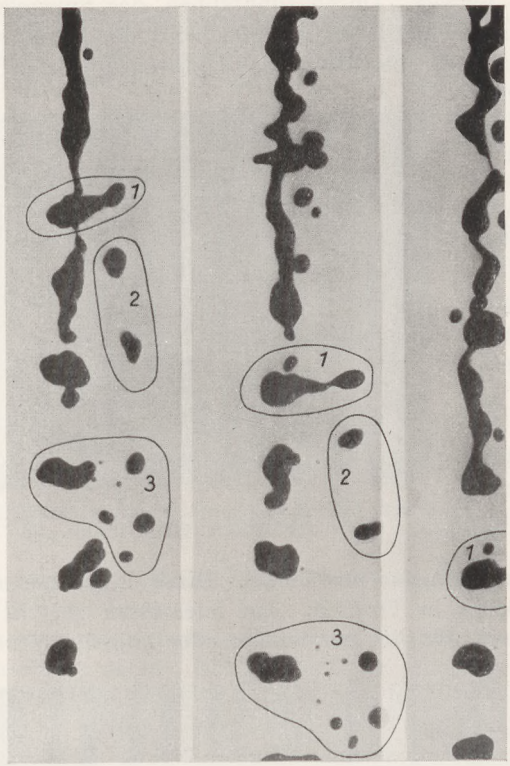


Fig. 5. Momentaufnahmen eines aus einer kreuzförmigen Öffnung geflossenen Wasserstrahls.

Ausflußöffnung in natürlicher Größe.

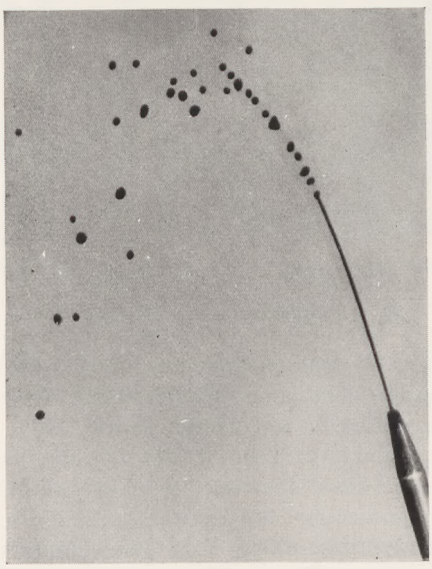


Fig. 6. Aufwärtssteigender Wasserstrahl von 1 mm Dicke, mit dem Klappspiegel aufgenommen.

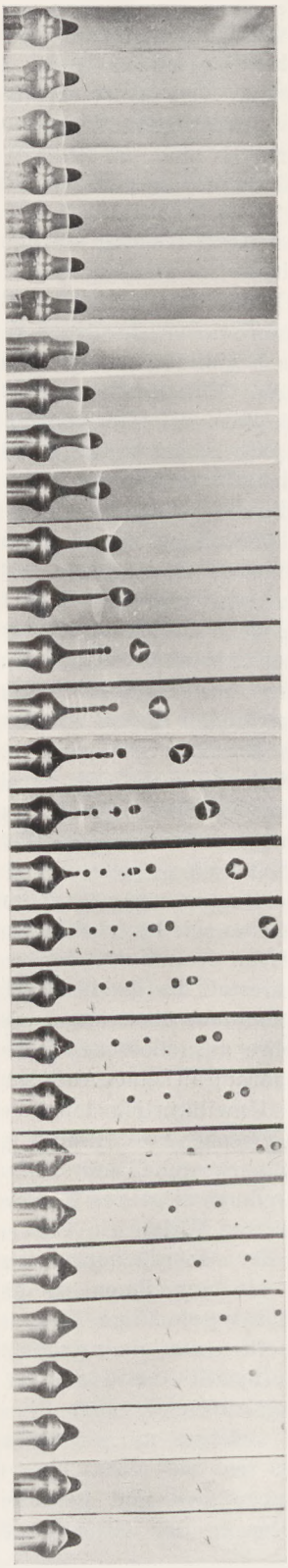


Fig. 7. Bildung eines einzigen Tropfens mit Belichtungsintervallen von $^1/_{150}$ Sekunde.

langsame Tropfenfolge die Aufnahme erschwert, indem dann der Drehspiegel leicht zu schnell läuft, die Platte zu rasch gezogen ist und infolgedessen nicht die ganze Tropfenbildung auf die Platte kommt. Die Belichtungsfrequenz wurde mit dem stroboskopischen Stern auf der Stirnseite des Drehspiegels im Lichte der Wechselstromglimmlampe auf 150 eingestellt.

Diese Aufnahme eignet sich gut als Bildstreifen für das Thaumatrop, wozu man zweimal die 30 Bilder in gleichen Abständen entsprechend den Abständen der Schlitze auf einen Streifen starken Papieres klebt. Mit Rücksicht darauf ist die Platte so gezogen, daß die Bildstreifen von rechts nach links folgen. Denn jetzt folgen bei der bequemen Rechtsdrehung der Schwungmaschine die Bildstreifen in der Reihenfolge ihrer Entstehung.

Fig. 8. Bäuche eines Wasserstrahls.

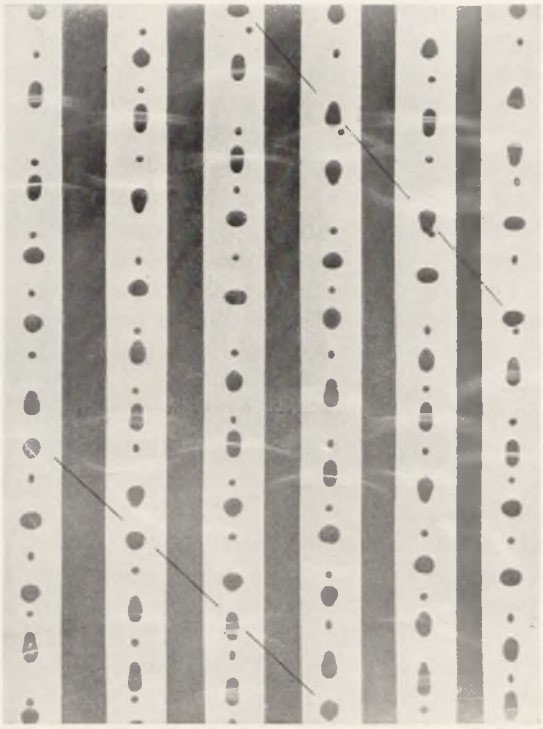


Fig. 9. Momentaufnahmen zweier Bäuche eines akustisch beeinflußten Wasserstrahls.

Durch zwei rechteckige Brettchen, die von Stativen so in das Innere der Trommel gehalten werden, daß sie vertikal stehen und in ihrer Verlängerung einen spitzen Winkel bilden, werden alle Belichtungsstreifen bis auf 3 abgeblendet. Eine Umdrehung in zwei Sekunden, so daß in jeder Sekunde ein Tropfen fällt, gibt die beste Wirkung.

3. Tropfenbildung beim akustisch beeinflußten Strahl.

Bringt man die Ausflußöffnung[1] in vibrierende Bewegung, indem man eine große Stimmgabel auf das Gestell *G* (Fig. 1) setzt, so wird die Geschwindigkeit des ausfließenden Strahles abwechselnd beschleunigt und verzögert. Die Wirkung ist eine große Regelmäßigkeit in der Tropfenbildung, die darin besteht, daß der Strahl in geringerer Tiefe zerfällt, als ohne Vibration und bei konstanter Intensität der Vibration die Haupttropfen sich ständig an derselben Stelle, in gleicher Größe und in gleichen Zeitintervallen bilden. Dadurch sind alle Tropfen nacheinander, wenn sie an derselben

[1] Blechgefäß mit kreisförmiger Ausflußöffnung.

Stelle angelangt sind, in der gleichen Schwingungsphase und erzeugen so die Anschwellungen des Strahles, die sog. Bäuche. Die Bäuche sind jene Stellen, an denen die Tropfen ein Ellipsoid mit horizontaler größter Achse bilden. Ein Strahl mit Bäuchen erweckt für das bloße Auge den Eindruck, als ob ein Faden oder ein hohler Zylinder sich durch ihn hindurchzieht, der besonders im Bauch auffällt. Dieser Faden wird von den Nebentropfen gebildet, die ebenfalls ganz regelmäßig entstehen, je einer zwischen zwei Haupttropfen. Fig. 8, die mit der gewöhnlichen Kamera aufgenommen ist, zeigt zwei solcher Bäuche, wie sie sich dem gewöhnlichen Anblick darbieten. Die wahre Gestalt solcher Bäuche in den einzelnen Augenblicken enthüllt uns Fig. 9. Sie gibt die Tropfen in den verschiedenen Schwingungsphasen wieder, und es gilt zu prüfen, ob die Tropfen in jedem Belichtungsmoment in ihrer Gesamtheit genau die Bäuche bilden. Zeichnet man auf einem Pauspapier an die Tropfen etwa im ersten Belichtungsstreifen die beiden Tangentialkurven und legt die Pause auf die folgenden Belichtungsbilder, so findet man, daß die Tropfen jedesmal sozusagen mit mathematischer Genauigkeit zwischen die Tangentialkurven passen. In der Tat durchfällt jeder Tropfen die ganze Strecke an je derselben Stelle in genau den gleichen Phasen. Bei näherem Zusehen erkennt man überdies, daß die Belichtungen 1 und 4, 2 und 5, 3 und 6 mit großer Genauigkeit übereinstimmen.

Läßt man den Drehspiegel mit einer solchen Geschwindigkeit rotieren, daß immer gerade in der Zeit zwischen zwei Lichtblitzen ein Tropfen an die Stelle eines seiner Vorgänger gelangt, so scheinen die Tropfen in der Luft zu schweben. Bei etwas schnellerer Rotation — der Lichtstrahl möge von unten nach oben gehen — werden die Tropfen beleuchtet, noch bevor sie die nächste entsprechende Stelle erreicht haben; sie scheinen nach oben zu steigen. Bei etwas langsamerer Rotation gleiten sie langsam nach unten.

4. Tropfenbildung bei Hindernissen.

G. Magnus (1802—1870) beschreibt in seinen „Hydraulischen Untersuchungen“[1] zwei Versuche, bei denen er die fallenden Tropfen eines akustisch beeinflußten Strahles auf Hindernisse stoßen läßt. Er beobachtet durch einen rotierenden Spalt und gibt die Beobachtungen in Zeichnungen wieder.

a) Bei dem ersten Versuche wird eine Glasröhre horizontal in einen Bauch gehalten, jedoch so, daß der Faden nicht berührt wird. Bei der photographischen Aufnahme wird die Glasröhre (etwa 7 mm dick) in einem an das Gestell *G* geschraubten Halter befestigt. Die entstehende Erscheinung gibt Fig. 10 in zwei aufeinanderfolgenden Momentbildern wieder. Die kleinen, den Faden bildenden Nebentropfen fallen ungestört senkrecht nieder. Die großen Tropfen ziehen sich zunächst kapillarisch an die Glasröhre hinan und lösen sich dann, ein Horn bildend, ab, das in Einzeltropfen zerfällt. Auf dem Bilde ist oben die Glasröhre zu sehen, die senkrecht zur Platte stand und infolge des Aufnahmeverfahrens nach den Gesetzen der Zentralprojektion schräg abgebildet ist.

b) In einem zweiten Versuche hält Magnus an Stelle der Glasröhre einen dünnen Draht in einen Bauch, wiederum, ohne den Faden zu berühren. Ich nahm bei Ausführung des Versuches einen 0,8 mm dicken Draht, der an das Ende eines dickeren Drahtes gelötet war. Fig. 11 zeigt das Ergebnis des Versuches. Ein Haupttropfen ist gerade an dem Drahte angelangt und steht unmittelbar vor dem Zerschnittenwerden. Die großen Tropfen werden in zwei ungleiche Teile zerschnitten, die in ihrer Gesamtheit zwei von der Senkrechten abstehende Zweige bilden. Der kleinere Teil erfährt eine größere Ablenkung. Die Nebentropfen fallen auch hier wie bei Versuch a) senkrecht nieder. Sie werden jedoch beim Vorbeifallen an dem Drahte deformiert, wohl durch anspritzende, beim Zerspalten der großen Tropfen entstandene Tröpfchen und durch Luftstöße daselbst.

[1] G. Magnus: Poggend. Ann. **106**, 25 (1859).

Mit Seifenwasser gelingen die beiden Versuche nicht, was verständlich ist. Die Tropfenteilung mit dem Drahte bei Einstellung des Drehspiegels auf nicht genau „schwebende Tropfen“ wirkt bei Verwendung von Weingeist noch fesselnder als bei Wasser. Die Zweige stehen hier weiter auseinander als bei Wasser. Ich beobachtete

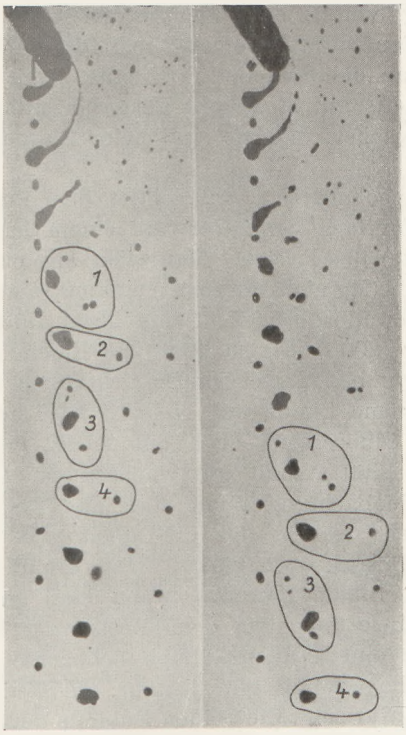


Fig. 10. Tropfenbildung bei einem in einen Bauch gehaltenen Glasstab.

Fig. 11. Zerspaltung von Tropfen durch einen dünnen Draht.

einen Winkel von schätzungsweise 60°. Läßt man die Tropfen (scheinbar) ganz langsam niedergleiten, so kann man unmittelbar beobachten, wie der Tropfen langsam entzweigespalten wird und die beiden Stücke ihren Weg weiterziehen. Der umgekehrte Vorgang bei passend eingestellter Rotation des Drehspiegels bietet den gleichen reizvollen Anblick.

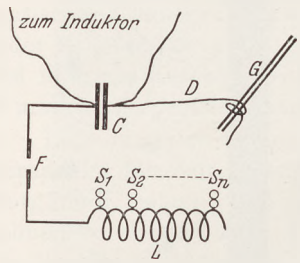
Beobachtungen zum spektroskopischen Verschiebungssatz.

Von **S. Janß** in Wandsbek.

Nach dem spektroskopischen Verschiebungssatz ist das erste Funkenspektrum eines Elements seiner Struktur nach gleich dem Bogenspektrum des im periodischen System vorhergehenden Elements. Das läßt sich mit einfachsten Mitteln an Cadmium, Zink und Magnesium demonstrieren. Das Bogenspektrum besteht aus Tripletts; Zn und Cd zeigen je eins deutlich, wenn man einen sehr schwachen Bogen zwischen den käuflichen Stäben brennt; außerdem findet man sie auch im Funkenspektrum der drei Stoffe (Cd 5086; 4800; 4678 — Zn 4810; 4722; 4680 — Mg 5184; 5173; 5168). Durch Photographie des Funkens mittels Glasoptik erhält man noch je ein weiteres Triplett (Cd 3614; 3467; 3403 — Zn 3346; 3303; 3282 — Mg 3838; 3832; 3830), bei Mg auch noch schwach eine dritte Gruppe (3337; 3332; 3330). Gut brauchbare Photographien erhält man mit Glasprisma und Brillengläsern als Kollimator- und Kameralinse. Das Spektrum ist zwar stark gegen die Achse geneigt, aber relativ eben. Man kann alles frei mittels Stativen aufstellen; die Platte (in einer Kassette) schützt man durch schwarzes Papier gegen unnötige Belichtung.

Nach der genannten Regel müssen die Funkenspektren Duplettsysteme liefern: man erhält Cd 5380; 5337 — Zn 4924; 4912 — Mg 4481. Die Anordnung zur Erzeugung des Funkens ist folgende (siehe die Figur). Die vom Induktor aufgeladene kleine Leidener Flasche C einer Influenzmaschine entlädt sich durch die Funkenstrecke F über die Selbstinduktion L von etwa 150 Windungen Klingeldraht auf einer Flasche von etwa 6 cm Durchmesser. Zur Änderung von L sind nach etwa 5, 10, 20, 50 Windungen Schleifen S eingedreht. Den freien Draht D befestigt man durch einige Windungen an der Glasröhre G; D führt man an den Schleifen S entlang. Hält man D an S_1, dann sind außer den Tripletts die Dubletts gut zu sehen; geht die Entladung über S_2 bis S_n, so werden letztere immer schwächer, und sie sind beim Einschalten der ganzen Spule fast ganz verschwunden.

Die Erscheinung läßt sich in Projektion beobachten. Man bildet den Funken durch eine Linse von etwa 20 cm Brennweite fünffach vergrößert auf einem Schirme ab und stellt hinter die Linse (nach der Bildseite) das Prisma. Man sieht aus einiger Entfernung die Tripletts (Mg nicht aufgelöst) und mit wachsendem L die Abnahme der allerdings nicht aufgelösten Dubletts. Nimmt man C größer (2000 cm), so kann die Erscheinung von den Plätzen aus gut beobachtet werden; es treten dann ohne L auch im Rot neue Linien auf; L muß aber größer sein; dann ist durch Fluoreszenz auch das 2. Mg.-Triplett zu sehen; seine Intensität nimmt mit wachsendem L zu.



Anordnung zur Funkenerzeugung für die Beobachtung von Funkenspektren.

Für subjektive Beobachtung kann man das Taschenspektroskop verwenden; es löst das Cd-Dublett gut auf; bei Zn bleibt die Auflösung zweifelhaft. Man erhält aber auch hier die beiden Linien getrennt, wenn man an die Augenmuschel eine Linse von etwa 6 cm Brennweite klebt und das durch diese abgebildete Spektrum mit einer Fadenzähllupe beobachtet. Es wird dann auch die 3. Linie des Mg-Tripletts im Grünen gut sichtbar. (D-Linie im Sonnenspektrum getrennt.) — Ein Einprismenapparat zeigt die beiden Dubletts deutlich; Mg 4481 ist allerdings auch noch mit weit höherer Dispersion nicht auflösbar.

Diese Versuche zeigen deutlich, daß es bei den drei Elementen gleiche Liniengruppen von kleinerer (Tripletts bei großem L) und größerer (Dubletts bei kleinem L) Anregungsenergie gibt, und man wird annehmen dürfen, daß bei den einzelnen Elementen die Träger der verschiedenen Liniengruppen, welche sich unter denselben Anregungsbedingungen analog verhalten, analoge Eigenschaften haben [SEELIGER-THAER, Ann. d. Phys. **65**, 426, (1921)]. Die Tripletts dieser drei Elemente haben alle als Träger das neutrale Atom mit je zwei äußeren Elektronen; die schärfere Anregung erfordernden Dubletts sind erst möglich nach Ionisation durch Entfernung eines äußeren Elektrons: es bleibt nur ein äußeres Elektron übrig wie bei den Alkalien der vorhergehenden Elemente, und wie bei letzteren zeigt das Spektrum Dubletts. — Mg 4481 ist astrophysikalisch wichtig. An der Intensität dieser Linie erkennt man, daß in den früheren Typen die Anregungsenergien größer sind als in den späteren.

Zur Didaktik der Einführung der Additionsgesetze von Kapazitäten.

Von **Horst Teichmann** in Dresden.

Man macht allgemein die elektrische Wirkungsweise eines Kondensators folgendermaßen plausibel:

Eine Metallplatte hat ein bestimmtes Fassungsvermögen für Elektrizität, eine bestimmte Kapazität. Diese würde immer die gleiche bleiben, wenn sich nie andere Körper, insbesondere Leiter, in der Nähe befänden. Nähert man ihr eine zweite Metallplatte, so wird die Kapazität erhöht, weil die, dem Vorzeichen nach entgegengesetzte, Influenzladung auf der Vorderseite der zweiten Platte einen Teil der Ladung

auf der ersten Platte bindet. Dadurch wird das Fassungsvermögen für Elektrizität, die Kapazität der ersten Platte, erhöht. Man kann leicht verständlich machen, daß ein solches Plattenaggregat, das als Kondensator bezeichnet wird, eine um so höhere Kapazität besitzt, je kleiner der Abstand zwischen den beiden Platten und je größer ihre Oberfläche ist, und daß daher zwischen der Kapazität C, der Oberfläche O und dem Plattenabstand d eines Plattenkondensators eine Beziehung von der Form bestehen muß:

$$C = k\frac{O}{d}, \tag{1}$$

wobei k ein Proportionalitätsfaktor ist, über dessen Größe man aus dem Kapazitätsbegriff allein keine Aussagen machen kann.

Für die Parallelschaltung zweier Kondensatoren (Fig. 1 *a*) folgt dann, daß die Kapazität des Aggregates C gleich der Summe der Einzelkapazitäten (C_1, C_2, ...) ist:

$$C = C_1 + C_2 + \ldots. \tag{2}$$

Es wird dies plausibel gemacht durch den Hinweis, daß durch diese Schaltung die wirksame Fläche des Kondensatoren-Aggregates größer ist, als die Flächen der einzelnen Kondensatoren.

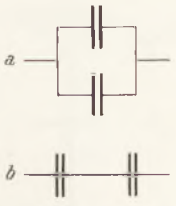


Fig. 1. Schaltschema für (*a*) Parallel- und (*b*) Hintereinanderschaltung von Kondensatoren.

Merkwürdigerweise fehlt eine solche Plausibilitätserklärung für die Hintereinanderschaltung von Kondensatoren (Fig. 1 *b*), wenigstens habe ich eine solche in sämtlichen, mir zugänglichen Physiklehrbüchern nicht finden können. Eine solche ist aber aus didaktischen Gründen schon deshalb unbedingt notwendig, weil der unwillkürliche Vergleich der beiden Schaltbilder in Fig. 1 mit den entsprechenden Schaltbildern der elektrischen Elemente den Schüler sehr leicht zu falschen Analogieschlüssen verleitet.

Über den Zusammenhang der Kapazität eines solchen Kondensatoraggregates mit der Kapazität der Einzelkondensatoren gewinnt man jedoch folgendermaßen ein klares Bild:

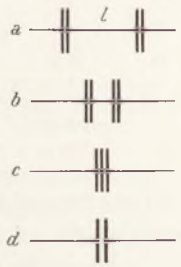


Fig. 2. Schema zur Erklärung der Wirkungsweise der Hintereinanderschaltung von Kondensatoren.

Denkt man sich die Verbindungsleitung l (Fig. 2 *a*) immer mehr verkürzt (Fig. 2 *b*), so bleibt schließlich vom isolierten Mittelteil des Aggregates nur noch eine Platte übrig (Fig. 2 *c*), die man entfernen kann, ohne an der Gesamtkapazität etwas zu ändern. Was dann übrigbleibt, ist ein Kondensator mit vergrößertem Plattenabstand (Fig. 2 *d*), also kleinerer Kapazität.

Die Wirkungsweise der Hintereinanderschaltung von Kondensatoren kann man sich also dadurch plausibel machen, daß sie eine Vergrößerung des wirksamen Plattenabstandes bewirkt. Auch die Gestalt der Gleichung für die Berechnung der Gesamtkapazität C aus den Einzelkapazitäten (C_1, C_2, ...) läßt sich ohne weiteres erschließen. Nach unserer Beziehung (1) und der soeben angestellten Plausibilitätsbetrachtung muß gelten:

$$C = k\frac{O}{d_1 + d_2 + \ldots}; \quad C_1 = k\frac{O}{d_1}; \quad C_2 = k\frac{O}{d_2}; \quad \ldots. \tag{3}$$

Die einfachste Weise, diese drei Gleichungen zu verknüpfen, ist die Beziehung:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots. \tag{4}$$

Damit hat man in vollkommen durchsichtiger Weise das Additionsgesetz für die Hintereinanderschaltung von Kondensatoren gewonnen. Das, was nun noch nachgewiesen werden muß, ist die exakte Gültigkeit der Gleichung (1) und die Bestimmung der Größe von k. Dies geschieht in der bekannten Weise aus der Verknüpfung des Kapazitätsbegriffes mit denen der Spannung und Ladung.

Der Vorteil der hier erörterten Plausibilitätserklärung für die Hintereinanderschaltung von Kondensatoren besteht darin, daß der Schüler die Wirkungsweise der

Schaltung rein aus dem Kapazitätsbegriff selbst heraus einsehen kann, ohne erst den für ein plastisches — nicht formelmäßiges — Denken viel zu schweren Umweg über den Spannungsbegriff nehmen zu müssen, wie er zur rechnerisch exakten Ableitung dieses Additionsgesetzes üblicherweise beschritten wird.

Physikalisches Institut der Sächsischen Technischen Hochschule Dresden.

Einige Gasanalysen für Schülerübungen.

Von **Alfred Weis** in Leipzig.

I. Quantitative chemische Schülerübungen statt nur qualitativer anzustellen, hat durch RISCHBIETHs inhaltreiches Büchlein: Quantitative chemische Versuche, Hamburg 1928, einen neuen Antrieb erhalten. Ich habe daraus eine Reihe Gasanalysen zusammengestellt, die mehrere Jahre erprobt ist. Darin steigern sich die technischen Schwierigkeiten allmählich, und die Schüler erlernen die nicht ganz einfache Handhabung der Apparatur (Gasbüretten mit Glühdrahtpipetten) im Laufe von 4 Übungen. Man kann sie so in gleicher Front mit der geteilten Klasse von höchstens 6 Gruppen zu 2 bis 3 Schülern abhalten, und es werden experimentell die Gründe für die AVOGADROsche Regel und die Zweiatomigkeit der Moleküle von H, O und Cl erarbeitet.

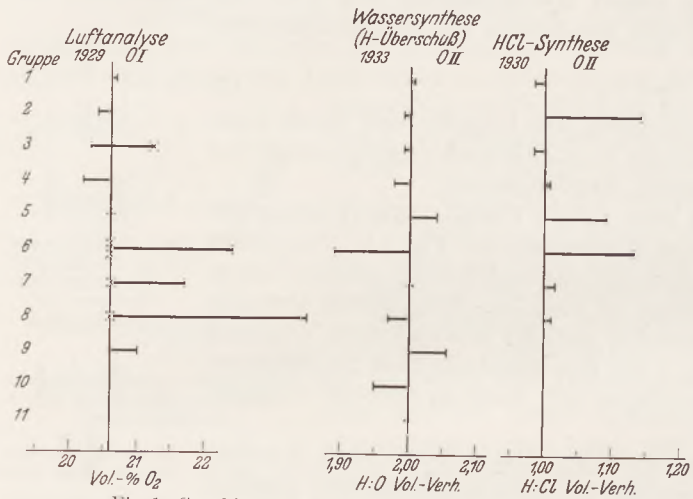


Fig. 1. Graphische Wiedergabe der Schülerergebnisse.

Es folgen aufeinander: 1. Luftanalyse mit Cu (RISCHBIETH, a. a. O., Vers. Nr. 6); 2. Oxydation von Cu mit Luft und Reduktion des gebildeten CuO mit Hilfe von CO (Vers. Nr. 94); 3. Synthese von Luft und Wasserstoff zu Wasser (Vers. Nr. 16); 4. Synthese von Chlorwasserstoff aus den Elementen (Vers. Nr. 37).

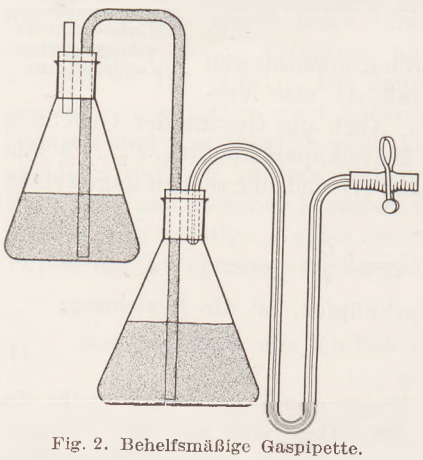


Fig. 2. Behelfsmäßige Gaspipette.

Alle Ablesungen geschehen unter Aufsicht des Lehrers. Die Ergebnisse werden in der Art, wie sie Fig. 1 wiedergibt, aufgetragen und bei der Nachbesprechung epiprojiziert. So nimmt jede Übungsstunde den Charakter einer „praktischen guten Arbeit“ an, und jeder Schüler erhält den Impuls, den Durchschnitt nicht zu drücken.

Übrigens lassen sich gewöhnliche Gaspipetten behelfsmäßig zusammenbauen, wie es Fig. 2 zeigt, ohne die Genauigkeit zu beeinträchtigen.

II. Ein anderes primitives Gerät gestattet, einige wenige, aber biologisch wichtige Luftanalysen mit einem ganz geringen Aufwand an Mitteln auszuführen. Zu Demonstrationszwecken ist es ungeeignet. Aber übungsmäßig kann man damit überraschend genau die Luft, die Wasserluft, die Ausatmungsluft und die geringe Gasmenge analysieren, die von assimilierenden Sprossen untergetauchter Wasserpflanzen abgegeben wird.

Ich bin von dem Gerät A. KROGHS zur Mikrogasanalyse ausgegangen (E. ABDERHALDEN: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. IV, Teil 10, S. 179—213). Ich mache hier aber nur die verschiedentlich vom Vorbilde abweichenden Angaben über die für Schülerübungen vereinfachte Form (Fig. 3).

Eine Thermometerkapillare von etwa 1 mm lichter Weite, 5 mm äußerer Dicke und etwa 25 cm Länge wird an einem Ende zu einer länglichen Erweiterung von etwa 5 mm innerer Weite und 10 bis 12 mm Länge aufgeblasen. Die Kuppe wird abgesprengt. Kapillarer Teil und Erweiterung (Glocke) sollen möglichst unvermittelt ineinander übergehen. Ein Stück guter Gummischlauch (6 cm) wird etwa 2 cm weit über das obere Ende der Kapillare gestreift. Er muß dicht schließen und doch verschiebbar sein. Die Glocke des Apparates tauchen wir in destilliertes Wasser und füllen ihn damit durch Saugen luftfrei. Dann quetschen wir den Gummischlauch ab, verschließen sein oberes Ende mit einem passenden Glasstäbchen und streifen über den mittleren Teil des Schlauches einen Schraubquetschhahn, den wir zudrehen. So klemmen wir das Gerät an einem Stativ fest. Die Glocke lassen wir in ein Tiegelchen mit destilliertem Wasser tauchen.

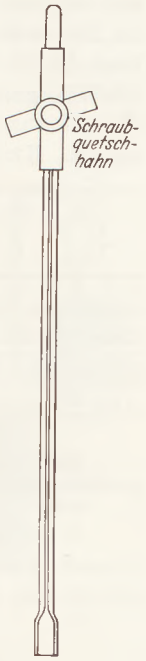


Fig. 3. Gerät zur Analyse kleiner Gasmengen.

Zur Luftanalyse pressen wir aus einer Pipette mit Gummihütchen ein wenig Luft unter die Glocke. Dann saugen wir diese langsam durch allmähliches Aufdrehen des Quetschhahnes in die Kapillare, während von unten Wasser nachsteigt. Ist die Luftmenge ganz eingesaugt, so wird ihre Länge mit dem Zirkel abgegriffen, an einem Schülerlineal gemessen und notiert. Die Luftsäule wird wieder so weit zurückgeschraubt, daß ihr unteres Ende dicht an der Glocke steht. Wir drehen den Apparat mit der Klemme um etwa 150° (Inverslage), saugen das Wasser aus der Glocke ab[1], so daß gerade noch ein Tröpfchen davon die kapillare Luftsäule absperrt, und füllen die Glocke mit einem Tropfen starker, alkalischer Pyrogallollösung. Wieder wird in Normallage gedreht, nachdem ein Schälchen zum Auffangen abfallender Tropfen daruntergestellt ist. Mit Hilfe des Schraubquetschhahns wird jetzt die Luftsäule so weit nach unten in die Glocke gedrängt, daß sie nur noch ½ cm in der Kapillare verbleibt. Bei Zimmertemperatur sieht man deutlich, wie sich die Pyrogallollösung augenblicklich von der Außenluft her und von der eingeschlossenen Luftblase aus schwärzt. Nach ½ bis 3 Min., je nach der Güte der Lösung, dem Sauerstoffgehalt des Gases und der Zimmertemperatur, stellen wir eine größere Schale mit Leitungswasser unter, so daß die schwarze Lösung abfließt. Wir ziehen die Restluft knapp in die Kapillare zurück, spülen mehrfach mit Hilfe einer Hakenpipette (vgl. Fig. 4 *b*), zuletzt mit destilliertem Wasser im Tiegelchen, saugen die Restluftsäule weiter in die Kapillare zurück, während destilliertes Wasser nachsteigt, greifen ihre Länge ab, messen und berechnen.

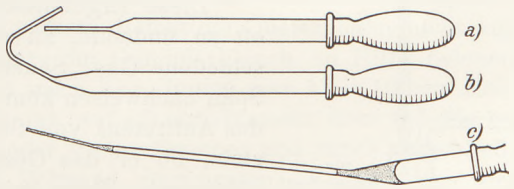


Fig. 4. Verschiedene Pipetten. Erklärung im Text.

Zum Schluß wird die Restluft wieder aus der Kapillare in die Glocke gedrängt, während diese in das Tiegelchen taucht. Sie wird mit der Hakenpipette abgesaugt, und der Apparat ist zur nächsten Analyse fertig, wenn keine Spur alkalischer Lösung in die Kapillare eingedrungen war. Andernfalls muß er gereinigt werden. Zur Messung des CO_2- und O_2-Gehaltes der Ausatmungsluft wird die Absorption, Spülung und Messung zweimal vorgenommen, zuerst nur mit Kalilauge und dann mit alkalischer Pyrogallollösung.

[1] Man benutzt dazu (nach einem Hinweise, den ich Herrn Prof. DOERMER verdanke) einfach ein 3 mm weites Glasröhrchen, dessen zur Kapillare ausgezogene Spitze rechtwinklig umgebogen ist. Diese Röhre saugt ohne Gummihütchen automatisch ab.

Bei einer lückenlosen Folge von 6 Luftanalysen erhielt ich 20,1%; 20,8%; 20,7%; 20,6%; 20,3%; 20,8% Sauerstoffgehalt.

Ausatmungsluft wurde während eines Atemzuges durch ein Pipettenröhrchen und zuletzt unter die Apparatglocke geblasen. Sie ergab 2,75% bzw. 2,78% CO_2 und 16,8% bzw. 16,6% O_2; nach Anhalten des Atems 4,57% bzw. 4,57% CO_2 und 14,6% bzw. 14,8% O_2. Insgesamt war also nur ein Verlust von 19,55%; 19,38%; 19,17%; 19,37% gefunden worden statt 20,6%. Die fehlenden 1 bis 1½% sind dem Kohlendioxyd zuzurechnen, das sich im Sperrwasser löst. Es war nur ganz schwach angesäuert. KROGH empfiehlt angesäuertes Glycerin und gibt ½% Verlust an.

	I. Kräftiger Zweig, 15 cm lang		II. Ebensolcher, 13,5 cm lang		III. Schwächerer, 11 cm lang		IV. Kräftiger Gabelzweig	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Gassäule in Millimetern . . .	198,5	172,5	90,5	97,0	126,0	69,5	151,0	206,0
Dieselbe nach Absorption . .	124,5	108,0	44,0	48,0	91,5	51,5	69,0	94,5
Differenz	74,0	64,5	46,5	49,0	34,5	18,0	82,0	111,5
Also Prozent O_2	37,3	37,4	51,4	50,5	27,4	25,9	54,3	54,1

Man bemerkt, wie die Genauigkeit zu wünschen übrig läßt, wenn die Gassäule kürzer als 150 mm gewählt wird. Den Gehalt an etwa 1% CO_2 habe ich vernachlässigt.

In obiger Tabelle gebe ich das Protokoll von vier Doppelanalysen der geringen Gasmengen, die von je einem Zweig der Wasserpest bei der Assimilation ausgeschieden wurden. Zweig I bis III stand in je einem Reagenzglas mit Aquarienwasser (ohne CO_2-Zusatz!), Zweig IV in einem Reagenzglas mit Aquarienwasser und CO_2-gesättigtem Wasser, zu gleichen Teilen gemischt. Das Gas wurde in kleinen, einseitig zugeschmelzten Glasröhrchen aufgefangen, die einen Tropfen Wasser als Verschluß der Gasmenge kapillar festhielten. In einer Pipette mit Gummihütchen wie Abb. 4 *c* wurde bei waagerechter Haltung die erforderliche Menge Gas herausgesaugt, an beiden Seiten durch Wasser abgeschlossen und so unter die Apparatglocke übertragen. ½ ccm Gas, günstigenfalls aus einem Zweig in ½ Stunde erhältlich, reicht für eine Doppelanalyse.

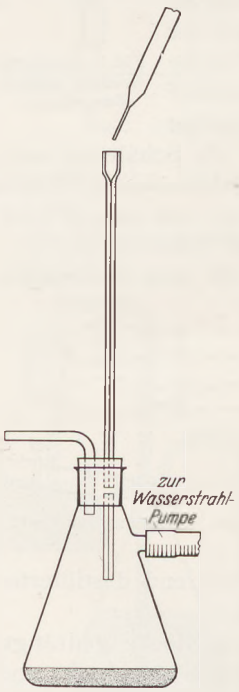


Fig. 5. Reinigen des Analysengerätes.

Diese Ergebnisse widerlegen zugleich die in Schulbüchern oft zu findende, zu stark vereinfachte Angabe, daß das ausgeschiedene Gas „Sauerstoff" sei, den man mit einem glimmenden Span nachweisen könne. Das erste ist nie der Fall. Die Erklärung des Auftretens von Stickstoff ist für den Schüler ein guter Prüfstein, ob er das Gesetz der Partialdrucke verstanden hat. Ein glimmender Span wird nach schwacher Assimilation (Vers. III) nicht entflammt, was man aber nie sicher voraussehen kann. Die Zusammensetzung des Gases ist von einer Vielzahl von Faktoren (z. B. Umrühren, Rückdiffusion) abhängig und nicht einmal für ein und denselben Zweig konstant.

Für eine naturgemäße Assimilationstätigkeit (Aufhören des Blasenstromes beim Verdunkeln) rät H. KNIEP, der diese Fragen zuerst eingehend untersuchte[1], eine frisch bereitete 1%ige Lösung von $KHCO_3$ in abgestandenem destilliertem Wasser zu nehmen (Na-Salz ist schädlich). Auch abgestandenes Leitungswasser, Aquarienwasser, Wasser, in das zur Anreicherung von CO_2 Ausatmungsluft geblasen wurde, sind brauchbar. Unnatürlich ist das Einleiten von CO_2 (Vers. IV) oder gar Selterswasser.

[1] KNIEP: Über den Gasaustausch der Wasserpflanzen. Jahrb. f. wiss. Botanik **56**, 460—510 (1915).

In CO_2-Wasser konnte KNIEP den Blasenstrom 15 Tage lang aus Pflanzen beobachten, die mit Sublimat vergiftet waren.

Die beschriebenen Mikroanalysen und das Gerät sind gedanklich denkbar einfach, die praktische Handhabung aber erfordert peinlich aufmerksames und sorgfältiges Arbeiten sowie äußerste Sauberkeit. Zufällige Fehler schleichen sich leichter ein als bei Makro-Gasanalysen, weshalb KROGH selbst rät, immer Doppelanalysen zu machen. Das bedeutet ja bei Schülerübungen keine Schwierigkeit. Will man bei den Assimilationsversuchen vergleichbare Werte erhalten, so kann man einige Kubikzentimeter Gas aus mehreren Zweigen gemeinsam auffangen und in Einzelmengen analysieren lassen.

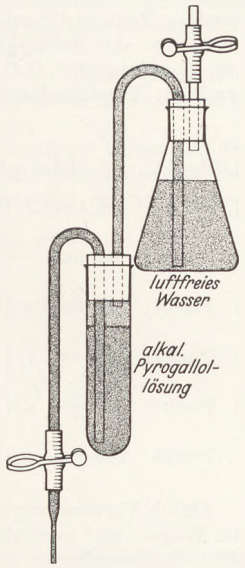


Fig. 6. Vorratsgefäß für Pyrogallollösung.

Die Ergebnisse werden ungenau, wenn das Kapillarrohr konisch ist. Man wird hierzu also nicht gerade Ausschußware kaufen. Auch kann das Kapillarrohr verunreinigt sein, so daß die Flüssigkeit ungleichmäßig adhäriert. Insbesondere schadet jedes Eindringen von Laugen. Deshalb drängt man die Gasmenge nie vollständig aus der Kapillare. Man spült die Glocke auch lieber zu oft als zu wenig. Dabei reißt sich öfter einmal eine Blase von der Gassäule los, was man leicht übersieht. Bemerkt man es rechtzeitig, so kann man sie durch passendes Schrauben wieder mit der Hauptmenge vereinigen. Ist sie schon mit der Pipette abgesaugt, so wird man die Längenänderung der Gassäule schätzen und in Anrechnung bringen. Sobald man bemerkt, daß sich die Flüssigkeit ungleichmäßig vom Glase löst, oder daß sich die Gassäule bei der Bewegung in zwei Teile trennt, muß man das Gerät reinigen. Zu diesem Zwecke nimmt man es auseinander, steckt es mit der Glocke nach oben in den Stopfen einer Saugflasche (Fig. 5) und saugt abwechselnd heiße Chromschwefelsäure und destilliertes Wasser hindurch. Der Schüler hält während des Gebrauchs die Öffnung des Knierohres mit dem Finger zu. So wird ein Zurückschlagen der Pumpe am einfachsten vermieden. Wegen der Adhäsion bewegt man auch die Gassäule in der Kapillare nur langam, nicht schneller als 1 cm/sec (KROGH 0,5 cm/sec).

Um das zu erreichen und die Gassäule weit genug hin und her bewegen zu können, müssen Schraubengewinde des Quetschhahns, äußere Dicke der Thermometerkapillare und Weite des Gummischlauches zueinander passen. Reicht der Quetschhahn nicht aus, so kann man die Verschiebung der Kapillare im Gummischlauch zu Hilfe nehmen.

Die Absorptionsflüssigkeit stellt man her, indem man 5 bis 10 ccm Kalilauge (100 g KOH, nicht mit Alkohol gereinigt, auf 60 ccm Wasser) über 0,5 bis 1 g Pyrogallol gießt (Präparatenglas wie Fig. 6 oder kleine Flasche) und rasch verschließt. Es genügt, das Pyrogallol nur roh, nach Volumen abzumessen. Fertigt man sich eine Pipette nach Fig. 6 zum Verschieben der Flüssigkeit unter Luftabschluß, so kann man mit 10 ccm eine ganze Klasse versorgen oder selbst eine Woche damit arbeiten.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Über Schülerübungen zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Von S. ROTHSCHILD in Mannheim.

Die Ausführung von Schülerübungen zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung war stets mit einigen Schwierigkeiten verknüpft. Im allgemeinen verfuhr man in der Weise, daß man einen kleinen Wagen durch ein fallendes Gewicht in Bewegung setzte und die Wege bestimmte, die der Wagen in gleichen Zeitabschnitten zurücklegte. Bei den verhältnismäßig kurzen zur Verfügung stehenden Wegstrecken waren die so erzielten Ergebnisse nicht sehr befriedigend.

Im folgenden soll eine Anordnung beschrieben werden, die mit einfachsten Hilfsmitteln und ohne besondere Anforderungen an die Geschicklichkeit

zu stellen, wesentlich bessere Ergebnisse liefert. An einem kleinen Wagen wird eine Vorrichtung angebracht, aus der möglichst gleichmäßig Wasser tropft. Brauchbar sind auch die als Spielzeug käuflichen kleinen Wasserwagen mit Hahn. Der Wagen wird wie bei der früheren Anordnung durch ein fallendes Gewicht in Bewegung gebracht. Man erhält dann auf dem Tisch eine Reihe Tropfen, deren Abstände vom Ausgangspunkt gemessen werden. Dann wird noch die Tropfgeschwindigkeit bestimmt. Als Beispiel seien die Ergebnisse eines von Schülern der O II ausgeführten Versuches erwähnt: Tropfgeschwindigkeit = $^1/_3$ Sekunde.

	s	t^2	$\frac{b}{2}$	Weg / $^1/_3$ Sekunde
1. Punkt:	nicht gemessen			
2. Punkt:	18,4 cm :	$\left(\frac{2}{3}\right)^2 = 41{,}4$		22,6
3. Punkt:	41 cm :	$\left(\frac{3}{3}\right)^2 = 41$		33
4. Punkt:	74 cm :	$\left(\frac{4}{3}\right)^2 = 41{,}6$		41
5. Punkt:	115 cm :	$\left(\frac{5}{3}\right)^2 = 41{,}4$		50
6. Punkt:	165 cm :	$\left(\frac{6}{3}\right)^2 = 41{,}2$		60
7. Punkt:	225 cm :	$\left(\frac{7}{3}\right)^2 = 41{,}3$		

Durch Verwendung verschiedener Belastungen des Wagens und verschiedener Zuggewichte eignet sich die Anordnung noch zur Behandlung der dynamischen Grundgleichung. Auch die Bewegungsvorgänge bei der schiefen Ebene können so untersucht werden. Von besonderem Interesse ist es dabei, den Wagen durch einen Stoß die Ebene hinauf und dann wieder zurücklaufen zu lassen. Man erhält so eine gute Anschauung vom Wurf nach oben, der sonst nur theoretisch zu behandeln ist.

Zur Bestimmung magnetischer Felder. Von R. FLEISCHER und A. NITZSCHE in Dresden.

In der vorliegenden Arbeit soll zunächst ein kurzer Überblick über die Methoden zur Ausmessung magnetischer Felder gegeben und schließlich ein im allgemeinen Gebrauch betriebsicheres und handliches Instrument beschrieben werden, das sich mit wenigen Mitteln beschaffen läßt und doch Anspruch auf genaue Meßmöglichkeit hat.

I. Allgemeine Meßmethoden.

A. Die erste Gruppe von Meßinstrumenten stützt sich auf die Gesetze, welche die Beziehungen zwischen magnetischem Feld und stromdurchflossenem Leiter erfassen (Motorprinzip).

Die einfachste Methode ist von F. SCHRÖTER[1] angegeben worden, der in das zu messende Feld ein dünnes, stromdurchflossenes Silberband bringt und aus der Durchbiegung des letzteren die Größe des Feldes bestimmt. Je nach der Wahl der Spannung des Silberbandes und der Stärke des ihn durchfließenden Stromes lassen sich leicht Felder von einigen wenigen bis zu mehreren tausend Gauß ausmessen.

F. STENGER[1] benutzt als stromdurchflossenen Leiter eine bifilar aufgehängte Spule, deren durch das Magnetfeld hervorgerufener Ausschlagwinkel die Berechnung des Feldes gestattet. Für den praktischen Gebrauch ist diese Methode von M. SIEGBAHN[2] besonders gut durchgearbeitet worden.

E. COTTON[3] läßt das magnetische Feld auf ein Leiterelement einwirken, welches an einem Ende eines Waagebalkens angeordnet ist. Die bei Stromfluß durch das Leiterelement im Magnetfeld entstehende ablenkende Kraft bedingt einen Ausschlag der Waage, welcher durch Auflegen von Gewichten kompensiert wird. Der Zug in vertikaler Richtung hat die Größe $F = \frac{Hli}{10}$ Dyn oder $f = \frac{Hli}{10 \times 981}$ gr. Dabei bedeutet H die magnetische Feldstärke in Gauß, l die Länge des Leiterelementes in cm, i die Stromstärke in Amp. (Meßbereich einige tausend Gauß).

LEDUC[4] und H. DU BOIS[5] verwenden als Leiterelement eine sehr dünne, rechteckige Quecksilberlamelle, welche an der tiefsten Stelle eines mit Quecksilber gefüllten U-Rohres, das als Manometer dient, angebracht ist. Bei Stromfluß durch die Quecksilberlamelle im Magnetfeld entsteht ein in horizontaler Richtung wirkender Druck, der die Flüssigkeit in dem einen Schenkel ansteigen läßt. Der angezeigte Druck ist ein direktes Maß für die Feldstärke (Meßbereich: mittlere Feldstärken).

B. Die zweite Gruppe von Instrumenten stützt sich auf die Gesetze, welche die Beziehungen zwischen Magnetfeld und in ihm bewegten Leiter erfassen (Dynamoprinzip).

Im einfachsten Falle verwendet man zur Messung der Größe eines Feldes oder zum Abtasten eines inhomogenen Feldes eine Prüfspule in Verbindung mit einem ballistischen Galvanometer genügender Empfindlichkeit. Beim Entfernen der mit ihrer Ebene senkrecht zu den Kraftlinien orientierten Spule aus dem Feld entsteht im Galvanometerkreis ein Strom. Das Umdrehen der Spule um 180° oder das Wenden des Feldes in entgegengesetzte Richtung erzeugt im Stromkreis den doppelten Strom. Auf diesem Prinzip beruht der Erdinduktor von W. WEBER.

Der Wert der Feldstärke ergibt sich aus einer Beziehung, in welche außer der Galvanometerkonstante, dem Gesamtwiderstand des Galvanometerkreises und dem Galvanometerausschlag die „Windungsfläche" der Spule eingeht. Die „Windungsfläche" ist definiert als Produkt aus Anzahl

[1] F. SCHRÖTER: Zeitschr. Instrumentenkunde **44**, 477 (1924).

[1] F. STENGER: Wied. Ann. **33**, 312 (1888).

[2] M. SIEGBAHN: Diss. Lund 1911.

[3] E. COTTON: Journ. Physique Radium **9**, 383 (1900).

[4] LEDUC: Journ. Physique Radium **6**, 184 (1887).

[5] H. DU BOIS: Wied. Ann. **35**, 137 (1888).

der Windungen und mittlerem Querschnitt der Spule. Um den bei der Bestimmung der Windungsfläche unvermeidlichen Fehler, welcher vollständig in die Bestimmung der Feldstärke eingeht, zu vermeiden, wird eine Messung in einem bekannten, variablen Magnetfeld ausgeführt. Wird letzteres dem unbekannten Magnetfeld größenordnungsmäßig angeglichen, so ist der Widerstand des Galvanometerkreises in beiden Fällen gleich, so daß sich die unbekannte Feldstärke aus folgender einfachen Beziehung ergibt:

$$H = \frac{a}{a'} H'.$$

Hierbei bedeutet H bzw. H' das unbekannte bzw. bekannte Feld und a bzw. a' den Galvanometerausschlag im unbekannten bzw. im bekannten Feld. Hierbei ist vorausgesetzt, daß a und a' durch Umkehr der Feldrichtung oder durch Drehen der Prüfspule um 180° erhalten werden.

Das bekannte variable Feld wird mittels des von R. GANS und P. GMELIN [1] vorgeschlagenen „Magnetetalon" für hohe Feldstärken erzeugt.

Handelt es sich um die Bestimmung unbekannter Spulenfelder, so führt die von E. GEHRCKE und M. v. WOGAU [2] entwickelte Nullmethode zu außerordentlich genauen Ergebnissen. Das Prinzip der Arbeitsweise ist aus Fig. 1 ersichtlich. Von den beiden bekannten Widerständen w, w' des Hauptstromkreises werden die Spule S, deren Feld bestimmt werden soll, und die Vergleichsspule S' abgezweigt. Die beiden abgezweigten Stromkreise enthalten außerdem die beiden veränderlichen Widerstände R, R', je einen Ausschalter, sowie je ein Präzisionsamperemeter. In die beiden Spulen S, S' werden die Prüfspulen s, s' mit den Windungsflächen nq bzw. $n'q'$ gebracht und über das ballistische Galvanometer G und den Widerstand W gegeneinander geschaltet. Zunächst wird der Ausschlag a am Galvanometer bestimmt, der sich beim Entfernen von s aus S ergibt. Dieser Ausschlag ist proportional der Feldstärke H, dem Strom J im Kreis der Spule S, sowie der Windungsfläche nq der Prüfspule s: $a \sim HJnq$. Für den Kreis der Spule S' gilt die entsprechende Beziehung: $a' \sim H'J'n'q'$. Hieraus ergibt sich: $H = \frac{aJ'n'q'}{a'Jnq} H'$. Hat man durch entsprechende Regulierung von R und R' erreicht, daß a und a' gleich sind, so bleibt das Galvanometer bei gleichzeitigem Entfernen von s und s' aus S bzw. S' in Ruhe, vorausgesetzt, daß das Verhältnis Selbstinduktion zu Widerstand in den beiden Kreisen von s und s' gleich ist. Diese Voraussetzung kann durch passende Wahl von Widerständen und durch eventuell hinzugefügte Selbstinduktion erfüllt werden. Es gilt dann:

$$H = \frac{J'n'q'}{Jnq} H'.$$

Das Entfernen der Prüfspule einzeln für sich oder gleichzeitig zusammen aus den Spulen S bzw. S' wird praktischerweise durch entsprechende Betätigung der Schalter oder Öffnen des Hauptstromkreises ersetzt.

Eine ähnliche Methode ist von F. PASCHEN [1] und von E. PRÜMM [2] angegeben worden. Während in der früher beschriebenen Methode in den Prüfspulen durch Unterbrechen des Hauptstromes und damit Vernichten des Magnetfeldes ein Strom induziert wurde, geschieht dies hier durch Rotieren der Prüf- und Vergleichsspule im unbekannten bzw. bekannten Magnetfeld.

C. Die dritte Gruppe von Meßinstrumenten stützt sich auf spezielle physikalische Erscheinungen im Magnetfeld.

G. QUINCKE [3] und H. DU BOIS [4] verwenden die para- und diamagnetischen Flüssigkeiten zur Bestimmung der Feldstärken. Bei der von beiden

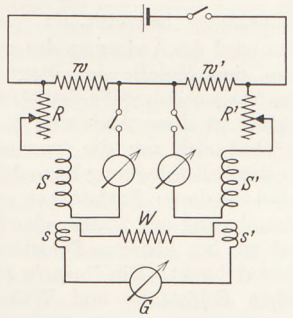


Fig. 1. Prinzipschaltung einer Spulenfeldmessung nach GEHRCKE und v. WOGAU.

ausgebildeten „Steighöhenmethode" bringt man die Flüssigkeit in einem dünnen, mit einem größeren Reservoir verbundenen Steigrohr in das Magnetfeld, z. B. zwischen die Pole eines Elektromagneten. Aus der sich einstellenden Steighöhe und der bekannten Suszeptibilität der Flüssigkeit läßt sich die Stärke des Magnetfeldes berechnen. Die Steighöhenmethode ist besonders geeignet zur Bestimmung hoher magnetischer Feldstärken. Bei kleineren Feldstärken sind Änderungen der Methode nötig, welche von H. DU BOIS [4] und C. CHÉNEVEAU [5] angegeben worden sind. Eine weitere Möglichkeit, Feldstärken zu bestimmen, bietet die „VERDETsche Konstante", welche die von FARADAY entdeckte Drehung der Polarisationsebene des Lichtes im Magnetfeld für die betreffenden Substanzen charakterisiert. Es gilt die einfache Beziehung:

$$H = \frac{\beta}{2wd},$$

worin H die magnetische Feldstärke, β den Drehwinkel der Polarisationsebene, d die Dicke des vom Licht durchsetzten Mediums und w die VERDETsche Konstante bedeuten. Für letztere ist deren Abhängigkeit von der Wellenlänge des

[1] R. GANS u. P. GMELIN: Ann. Physik **28**, 927 (1909).

[2] E. GEHRCKE u. M. v. WOGAU: Verhandl. Dtsch. physikal. Ges. **11**, 664 (1909).

[1] F. PASCHEN: Physikal. Zeitschr. **6**, 371 (1905).

[2] E. PRÜMM: Diss. Tübingen 1906.

[3] G. QUINCKE: Wied. Ann. **24**, 374 (1885).

[4] H. DU BOIS: Loc. cit.

[5] C. CHÉNEVEAU: Journ. Physique Radium **9**, 692 (1910). Compt. rend. Paris **180**, 1046 (1910).

Lichtes und der Temperatur des durchstrahlten Mediums zu beachten. Besonders geeignet für diese Methode sind Substanzen mit großer VERDETscher Konstante, wie Schwefelkohlenstoff oder einige Spezialarten Jenaer Gläser. Die Entwicklung dieser Methode ist ebenfalls ein Verdienst von H. DU BOIS [1].

Die als HALL-Effekt bekannte physikalische Erscheinung läßt sich ebenfalls für Messungen magnetischer Feldstärken auswerten. Dabei entsteht in einer vom Strom J durchflossenen, ebenen Metallplatte geringer Dicke d, welche senkrecht zu den Kraftlinien eines magnetischen Feldes der Stärke H angeordnet ist, senkrecht zu den Stromlinien eine EMK. Gesetzmäßig läßt sich dieser Effekt folgendermaßen formulieren: $H = \frac{Ed}{CJ}$, wobei C eine Materialkonstante, die sog. „Hallkonstante" bedeutet.

Weiterhin wird die Änderung des spezifischen Widerstandes der Metalle im Magnetfeld zur Bestimmung magnetischer Feldstärken benutzt. Besonders groß ist diese Änderung bei Wismut. P. LENARD [2] hat sich um die wissenschaftliche Erforschung dieser Erscheinung besonders verdient gemacht. Bei niederen Feldstärken nimmt die Widerstandsänderung mit wachsender Feldstärke zu, während sie bei höheren Feldstärken angenähert konstant bleibt. Ein linearer Zusammenhang zwischen Feldstärke und Widerstand ist demnach nur bei hohen Feldstärken vorhanden. Mit zunehmender Temperatur wird die Änderung geringer. Für den praktischen Gebrauch hat P. LENARD das Wismut in Drahtform zu einer kleinen flachen Spirale ausgebildet, die sich leicht in Felder geringer Ausdehnung bringen läßt. Die größte Empfindlichkeit wird hierbei erreicht, wenn die Windungsebene von den magnetischen Kraftlinien senkrecht durchsetzt wird. Um Induktionswirkungen von vornherein auszuschalten, ist die Spule bifilar gewickelt.

II. Herstellung eines Wismutmagnetometers.

A. Verdampfung von Wismut im Hochvakuum. Die im Handel erhältlichen Wismutspiralen sind wohl sehr handlich, haben aber den großen Nachteil, daß sie wegen des dünnen Wismutdrahtes und der Sprödigkeit des Wismuts, vor allen Dingen bei tieferen Temperaturen, schon durch geringen Stoß zerstört werden. Dieser Umstand veranlaßte uns, zur Herstellung von Wismutspiralen durch Metallverdampfung und Niederschlagen auf eine nichtleitende Unterlage überzugehen. Hierdurch wird erreicht, daß das Metall während des Verdampfens eine Reinigung erfährt und die Spirale durch die Unterlage wesentlich an Festigkeit gewinnt.

Die Herstellung dünner Wismutschichten geschieht hier im Vakuum durch Verdampfen des Metalls in durch JOULEsche Wärme zum Glühen gebrachten Wolframspiralen. Das verdampfende Metall kondensiert auf einer z. B. aus Glas bestehenden Unterlage. Die Wismuthäute, aus denen später mechanisch oder chemisch die endgültige Form herausgearbeitet wird, müssen aus besonders reinem Wismut bestehen, wenn die Empfindlichkeit des endgültigen Instrumentes den gestellten Anforderungen genügen soll. Um den Niederschlag aus möglichst reinem Metall zu erhalten, sind zwei Gesichtspunkte zu beachten: erstens reines Ausgangsmaterial und zweitens hohes Vakuum während des Verdampfungsprozesses.

Bestes Vakuum ist erforderlich, damit nicht etwa durch vorhandene Gasreste das verdampfende Metall chemisch beeinflußt und die entstehende Schicht durch eine Wismutverbindung verunreinigt wird. Dabei kann das Gas prinzipiell aus drei Quellen stammen. Einmal kann die fehlerhafte Beschaffenheit der Vakuumanordnung selbst das Gas liefern. Wir denken dabei an Undichtigkeiten, gasliefernde Kittstellen, große Mengen an den Glaswandungen adsorbierter Gase, geringe Saugwirkung der Pumpen und Quecksilberdämpfe, die aus den Quecksilberdampfstrahlpumpen stammen. Das Gas kann weiterhin im Drahtmaterial der Glühspirale (Wolframdraht) seinen Ursprung haben. Insbesondere wird die aus dieser Quelle stammende Verunreinigung während des Verdampfungsprozesses auftreten. Und schließlich wird während des Verdampfungsprozesses das vom Wismut selbst ad- und absorbierte Gas frei.

Die Vakuumanordnung besteht im wesentlichen aus einer Wasserstrahlpumpe, einer Quecksilberdampfstrahlpumpe (Vorvakuumpumpe), einer Quecksilberdampfdiffusionspumpe (Hochvakuumpumpe), einer in flüssige Luft getauchten Ausfriertasche, in der die aus Richtung der Quecksilberpumpen vordringenden Quecksilberdämpfe ausgefroren werden, und der Verdampfungszelle. Diese fünf Teile sind in Reihe geschaltet. Die Vorvakuumpumpe ist durch eine Rohrleitung überbrückt, welche zwischen Wasserstrahlpumpe und Quecksilberdampfstrahlpumpe beginnt und zwischen letzterer und Diffusionspumpe endigt. In dieser Brücke befindet sich ein etwa 30 l fassender Glasballon. Durch geeignete Anordnung von Glashähnen ist es möglich, diese Kugel mittels der Vorvakuumpumpe bis auf einen etwa 10^{-3} mm Quecksilbersäule entsprechenden Druck auszupumpen. Durch Umschalten der Hähne kann dann dieser Ballon bei abgetrennter Wasserstrahlpumpe als Vorvakuum für die Quecksilberdampfstrahlpumpe selbst benutzt werden. Dieses Umschalten hat mehrere Vorteile. Einmal ist die Wasserstrahlpumpe nicht während des ganzen Arbeitsprozesses in Betrieb. Es fallen damit der große Wasserverbrauch und das lästige Geräusch weg. Zum anderen kann die Anlage infolge der erhöhten Betriebssicherheit der dauernden Aufsicht entbehren. Außerdem aber pumpt die Vorvakuumpumpe nicht auf einen Druck von bestenfalls 11 mm Quecksilbersäule, welchen die Wasserstrahlpumpe im günstigen Falle erreichen kann, sondern auf einen Druck, der weit unter 1 mm Quecksilbersäule liegt. Dadurch wird die Saugwirkung der Anlage ganz bedeutend erhöht.

[1] H. DU BOIS: Wied. Ann. **51**, 549 (1894).
[2] P. LENARD: Wied. Ann. **39**, 619 (1890).

Die Verdampfungszelle ist in Fig. 2 dargestellt. Der Schliffstopfen ist als Sockel ausgebildet, in den 3 Zuleitungen (*a*, *b*, *c*) eingeschmelzt sind. Diese dienen als Halter für die Glühspiralen, welche bei 15 mm Länge etwa 18 Windungen haben. Der Windungsdurchmesser beträgt ungefähr 2 mm. Als Material für diese wird Wolframdraht von 0,2 mm Durchmesser verwendet.

Platindraht ist in diesem Falle nicht brauchbar, da er, zum Glühen gebracht, mit Wismut eine Legierung bildet, und aus diesem Grunde der Draht zerstört wird. Der Schliffmantel geht in einen Zylinder von 16 cm Länge und 4 cm Durchmesser über. Er ist durch den Ansatz *d* mit der Vakuumanordnung verbunden und findet im Rohr *e* von 17 cm Länge und 1,2 cm Durchmesser seinen Abschluß. In *e* wird der Messingfuß *f* mit der Messingplatte *g* eingeführt. Die Platte *g* ist tellerartig ausgedreht, damit die hier aufgelegte und als Unterlage für die Wismutschicht dienende Glasplatte einen festen Halt findet.

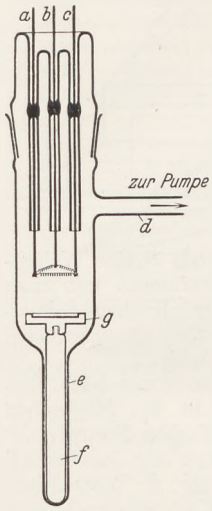


Fig. 2.
Zelle zur Herstellung von Bi-Schichten durch Verdampfen.

Bevor die Spiralen mit Wismut beschickt werden, werden diese im Hochvakuum ausgeglüht, um die Verunreinigung von der Drahtoberfläche zu entfernen. So wird vermieden, daß die dabei entstehenden Gase und Dämpfe später beim Verdampfen des Wismuts dieses verunreinigen.

Als Ausgangsmaterial dient das im Handel erhältliche Wismut. Dieses wird zuerst in Drahtform von 2 mm Durchmesser gebracht. Zu diesem Zwecke schmelzt man das Wismut (Schmelzpunkt 271° C) im Reagenzglas und saugt das flüssige Metall in ein dünnwandiges Glasrohr von 2 mm lichte Weite. Das Rohr wird vorsichtig zerschlagen und der Wismutdraht freigelegt. Man kann auf diese Weise leicht Wismutdrähte (Einkristalle) von 10 und mehr cm Länge erhalten. Etwa 1 cm lange Stückchen des so hergestellten Wismutdrahtes werden nun in die im Hochvakuum ausgeglühten Wolframspiralen gebracht. Ist wiederum bestes Vakuum erreicht, so wird durch vorsichtiges Anheizen der Spiralen das Wismut zum Schmelzen gebracht, um Verunreinigungen zu entfernen. Während des endgültigen Verdampfungsprozesses wird der Ansatz *e* der Zelle in flüssige Luft getaucht. Auf diese Weise werden der Messingfuß *f* und der Messingteller *g* und damit die als Unterlage dienende Glasplatte auf niedere Temperatur gebracht. Dies ist aus zwei Gründen notwendig. Einmal wird ein gleichmäßiges Kondensieren des Wismuts auf der Glasplatte erreicht, und dann wird vermieden, daß bei hohen Glühtemperaturen die Glasplatte sich so weit erwärmt, daß die vorhandene Wismutschicht zusammenschmilzt.

Die in Fig. 2 dargestellte Zelle gestattet, gleichzeitig drei Wolframspiralen anzubringen und aus diesen nacheinander Wismut zu verdampfen, eine Maßnahme, welche mit Rücksicht auf die gewünschte Dicke der Wismutschicht notwendig sein kann.

B. Formgebung und Entwicklung des Wismutmäanders. Die Spiralen werden durch Ritzen bzw. durch Ätzen der auf einer Glasunterlage aufgedampften Wismutschicht hergestellt. Der mechanische Vorgang ist dabei folgender. Der Wismutschichtträger wird mittels Paraffin oder Bienenwachs auf einem Holzfutter befestigt und dieses in die Drehbank eingespannt. Im Support ist eine Vierkantmetallhülse befestigt, in der ein in der Längsrichtung der Drehbank leicht verschiebbarer Messingstab geführt wird. Letzterer erhält an dem einen Ende eine Grammophonnadel. Über das Wechselradgetriebe wird nun eine Planverschiebung des Supportes herbeigeführt und dabei die Grammophonnadel leicht gegen die Wismutschicht gedrückt. Das Wechselradgetriebe ist dabei so eingestellt, daß der Support bei einer Umdrehung des Drehbankfutters um 1,6 mm weiterrückt. Auf diese Weise läßt sich leicht eine saubere einfache Spirale in die Wismutschicht einritzen, deren Bandbreite etwa 1,4 mm beträgt. Durch Ausschalten des Supportes während einer halben Drehung des Drehbankfutters und darauffolgendes nochmaliges Ritzen erhält man eine bifilare Spirale. Die hier geschilderte Methode ist aber nur anwendbar, wenn es sich um dünne Metallschichten von wenigen μ Stärke handelt.

Bei größeren Dicken der Wismutschicht tritt fast ausnahmslos ein Abblättern des Metalles an den inneren Windungen der Spirale ein.

In diesen Fällen wurden die Spiralen auf folgende Weise hergestellt. Die Wismutschicht erhielt zunächst einen dünnen Überzug von Paraffin. In diese Paraffinschicht wurde nun die Spirale in der oben geschilderten Weise eingeritzt und darauf das so freigelegte Wismutmetall mittels verdünnter Salpetersäure weggeätzt. Diese Prozedur erfordert aber ebenfalls größte Vorsicht, da bei sehr dicken Metallschichten sich neben der Tiefenätzung eine seitliche Auflösung des Wismuts stark bemerkbar macht, die in den meisten Fällen zur Zerstörung der Spirale führt, vor allem, wenn die Breite der Spirale unter den Wert von 1 mm sinkt. Die von Metall freie Fläche wird durch das Ätzen natürlich vergrößert auf Kosten der mit Wismut belegten. Da aber, wie bereits LENARD feststellte, die Unterbringung möglichst großer Metallmassen in kleinem Raume angestrebt werden muß, gingen wir von der Verlust bedingenden langen Spirallinie ab und gaben der Fläche eine mäanderförmige Unterteilung, die außerdem den Vorteil einer einfacheren Herstellung besitzt.

Zunächst wurde versucht, auf dem Wege des Aufdampfens und Abätzens eine bifilare Spirale in möglichster Anpassung an das LENARDsche Modell herzustellen. Bei Schichtdicken von nur wenigen μ ergaben sich technisch keine Schwierigkeiten. Aus Gründen, die später erörtert werden

sollen, war es jedoch nötig, dickere Schichten zu verwenden. Dabei tritt die oben beschriebene Unannehmlichkeit auf, daß bei feiner Unterteilung der Spirale ein gleichmäßiges Ausätzen nicht mehr möglich ist, ohne daß sich Metallteilchen von der Unterlage lösen, wodurch der Zusammenhang der Spirale unterbrochen wird.

Um breitere Metallstreifen unter Beibehaltung der Länge zu erhalten, werden beide Seiten des Unterlagematerials mit einfachen Spiralen versehen. Die Verbindung der inneren Enden beider Spiralen kommt mittels eines mit Wismutmetall ausgefüllten Bohrloches, welches sich im Zentrum der Unterlage befindet, zustande. Dabei ist der Nachteil in Kauf zu nehmen, daß die Belegung der Unterlage mit Wismut durch Aufdampfen nicht in einem Zuge vorgenommen werden kann. Es muß die Zelle mit Luft gefüllt und geöffnet werden, um die Platte herumdrehen zu können. Wird auch dadurch erreicht, daß der die Spirale bildende Metallstreifen breiter gemacht werden kann, so zeigt sich jedoch, daß das Absplittern des Metalls nicht behoben wird. Diese Schwierigkeit veranlaßte uns schließlich, von der Spiralform zur Mäanderform überzugehen.

C. Das Kontaktproblem. Große Aufmerksamkeit ist der Frage nach elektrisch gutleitender und mechanisch fester Verbindung zwischen Wismutschicht und Halter zu widmen. Einfaches Anpressen des Haltermetalls an den Wismutstreifen genügt nicht, um guten elektrischen Kontakt zu geben.

Ein anderer Weg, um Verbindung zwischen Wismutschicht und Haltermetall herzustellen, ist folgender. Die Unterlageplatte wird am Rande mit zwei um 180° gegeneinander versetzten Bohrlöchern versehen. Diese werden mit Wismut ausgefüllt. In diese Wismutplomben werden Platindrähte eingeschmelzt, und letztere mit ihrem freien Ende an dem Halter befestigt. Diese Methode bietet jedoch keine unbedingte Sicherheit bezüglich der Lösung des Kontaktproblems. Die Wismutplomben werden leicht locker, so daß der Kontakt mit der Wismutschicht unterbrochen wird. Es erweist sich aber folgende Lösung als brauchbar. Als Übergangsmaterial zwischen Wismut und Haltermetall wird Platindraht gewählt. Der Platindraht wird in die als Unterlage dienende Glasplatte eingeschmelzt und beide oberflächlich abgeschliffen. Auf diese Weise ist der Platindraht fest in die Glasplatte eingebettet. Beim Aufdampfen des Wismuts werden sowohl die Glasplatte als auch der Platindraht mit der Metallschicht überzogen, so daß ein guter und dauerhafter Kontakt gesichert ist.

Der Übergangswiderstand zwischen Wismut und Haltermetall ist auch die Ursache, warum nicht einfach eine „nicht unterteilte Fläche" verwendet wird. Da dieser Übergangswiderstand unabhängig vom Magnetfeld ist, tritt er immer in derselben Größe in Erscheinung. Er setzt für den Fall, daß Übergangswiderstand und Widerstand der Wismutfläche von derselben Größenordnung sind, die prozentuale Widerstandsänderung ganz wesentlich herab. Der Übergangswiderstand muß klein sein im Verhältnis zum Widerstand der Wismutfläche.

III. Meßmethode und Meßresultate.

Im folgenden werden einige Messungen an diesen verschiedenen Formen mitgeteilt. Fig. 3 zeigt die dazu benutzte Schaltung, eine gewöhnliche Brückenschaltung, in welcher bedeuten: X den zu messenden Wismutwiderstand, R einen

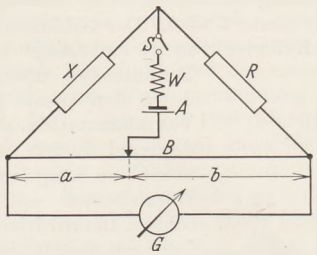


Fig. 3. Brückenschaltung zur Widerstandsmessung der verschiedenen Bi-Magnetometer.

bekannten Vergleichswiderstand, B eine Walzenbrücke, G ein Drehspuleninstrument mit einer Empfindlichkeit von 10^{-6} Amp., W einen Schutzwiderstand von 30 Ohm, S einen Stromschlüssel und A einen 2-Volt-Akkumulator.

Die relative Widerstandsänderung beim Einbringen der Wismutschicht in das Magnetfeld ergibt sich aus folgender einfachen Formel:

$$A_{\text{rel.}} = \frac{v'}{v} - 1; \quad v = \frac{a}{b}; \quad v' = \frac{a'}{b'}.$$

Hierbei bedeutet v das Brückendrahtverhältnis ohne Feld, v' dasjenige bei angelegtem Magnetfeld, wenn die Brücke auf Stromlosigkeit eingestellt ist.

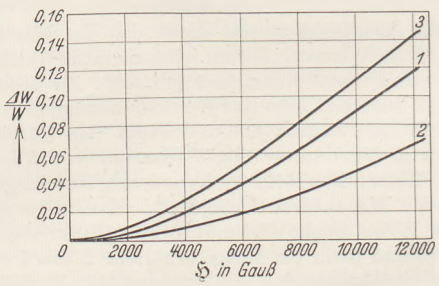


Fig. 4. Abhängigkeit der Widerstandsänderung von der Feldstärke bei verschiedenen Bi-Spiralen.
Kurve 1: Spirale I. ∅ 18 mm; W_0 = 259,4 Ω bei 20,5° C; Schichtdicke ~ 8 μ.
Kurve 2: Spirale II. ∅ 20 mm; W_0 = 243,8 Ω bei 20,0° C; Schichtdicke ~ 12 μ (Spirale verletzt, jedoch noch Kontakt vorhanden).
Kurve 3: Spirale III. ∅ 20 mm; W_0 = 111,7 Ω bei 20,3° C; Schichtdicke ~ 10 μ.
Unterlage für alle 3 Spiralen: ∅ 30 mm; Dicke 2 mm.

Fig. 4, Kurve 1 zeigt die Abhängigkeit der relativen Widerstandsänderung von der Feldstärke einer bifilaren Spirale, die einseitig auf dem Unterlagematerial aufgedampft ist. Die Abmessungen der Unterlage und der Spiralen sind neben den zugehörigen Kurven angegeben. Infolge der oben angeführten Gründe (Absplittern des Wismut

bei der Formgebung der Spirale) scheint es schwierig, bei einigermaßen geringer Bandbreite Spiralen wesentlich geringeren Widerstandes durch Verwendung dickerer Metallschichten anzufertigen. Die Kurve *3* der Fig. 4 gibt die entsprechenden Beziehungen für eine Spirale wieder, welche aus zwei einfachen Spiralen auf der Vorder- und der Rückseite der Unterlage besteht. Ihre inneren Enden sind auf die früher beschriebene Weise untereinander verbunden. Eine Vergleichung

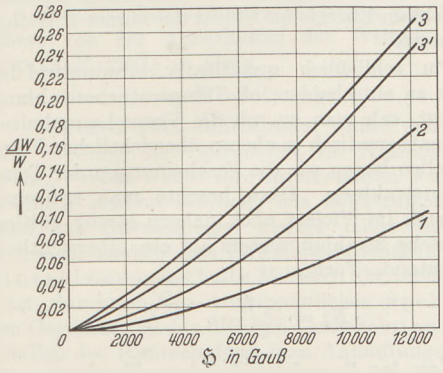


Fig. 5. Schichtdicken und Widerstände der Wismutmäander.
Kurve *1*: Mäander I. $W_0 = 20{,}97\ \Omega$; Schichtdicke ~ 2 μ.
Kurve *2*: Mäander II. $W_0 = 5{,}44\ \Omega$; Schichtdicke ~ 8 μ.
Kurve *3*: Mäander III. $W_0 = 6{,}47\ \Omega$; Schichtdicke ~ 20 μ

beider Kurven zeigt, daß durch Vergrößerung der Schichtdicke, also durch Unterbringung größerer Metallmassen in demselben Querschnitt, die Empfindlichkeit der Spirale heraufgesetzt wird. Kurve *2* der Fig. 4 ist ein Beispiel für den oben erwähnten ungünstigen Einfluß, den ein verhältnismäßig großer Übergangswiderstand auf die prozentuale Widerstandsänderung ausübt. Verglichen mit den Abmessungen der Spirale 3 und dem Widerstand derselben ist ein Widerstand der Spirale 2 von etwa 100 Ohm anzunehmen. Der gemessene Widerstand 243,8 Ohm ist aber dadurch zustande gekommen, daß die Spirale durch einen Sprung und Abblättern an einer Stelle der Unterlage unterbrochen war und der Kontakt durch einfaches Andrücken wieder hergestellt wurde. Die Kurve *2* der Fig. 4 zeigt, daß die prozentuale Widerstandsänderung auf mehr als die Hälfte herabgedrückt worden ist. Sieht man den Übergangswiderstand, der in diesem Falle etwa 140 Ohm beträgt, als nicht vorhanden an, so ergibt die Spirale 2 eine der Spirale 3 entsprechende Widerstandsänderung. Die Schwierigkeiten, die sich der Herstellung von Spiralen größerer Masse, also geringeren Widerstandes, entgegenstellten, führten, wie oben beschrieben, zum Übergang von der Spiral- zur Mäanderform.

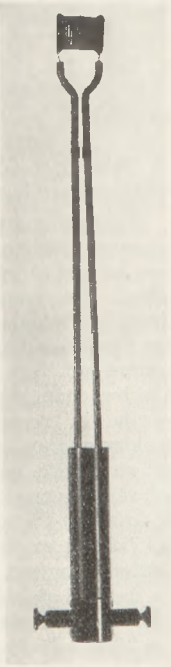


Fig. 6. Ausführungsform des Bi-Mäanders.

Die Fläche der hergestellten Wismutmäander[1] beträgt etwa 1 qcm und die Dicke der Unterlage etwa 1,5 mm. Die Schichtdicken und ihre Widerstände sind aus der Fig. 5 zu entnehmen. Die Kurven der Fig. 5 zeigen wiederum deutlich, wie der Zunahme der Schichtdicke eine Steigerung der prozentualen Widerstandsänderung entspricht. Der größere Widerstand des Mäanders 3 trotz der erheblich größeren Schichtdicke gegenüber Mäander 2 ist auf eine feinere Unterteilung, also auf größere Länge des Streifens zurückzuführen.

Physikalisches Institut
der Technischen Hochschule zu Dresden.

[1] Die Herstellung und den Vertrieb der Wismutmäander in der nebenstehend abgebildeten Form (Fig. 6) hat die Firma Hugo Keyl, Dresden-A, übernommen.

2. Forschungen und Ergebnisse.

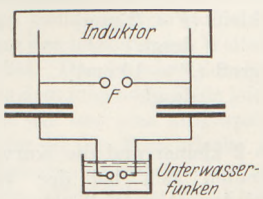
Ist das kontinuierliche Spektrum des Unterwasserfunkens Temperaturstrahlung?[1] Bericht von Dr. C. HEINRICH in Swinemünde.

Die vorliegende Arbeit ist ein gutes Beispiel für die experimentelle Untersuchung einer eng begrenzten Frage aus dem Gebiete der Strahlung. Gegenstand der Messung ist die Emission eines Unterwasserfunkens, der in einem Stromkreis erzeugt wird, wie ihn die folgende Figur andeutet.

Dadurch, daß man die Länge der parallel geschalteten Anregungsfunkenstrecke zwischen 2 mm und 10 cm verändert, erreicht man eine Änderung der Entladungsenergie des Unterwasserfunkens innerhalb genügend weiter Grenzen. Die Elektroden, zwischen denen der Funken erzeugt wird, lassen sich leicht auswechseln.

[1] Nach der gleichnamigen Arbeit von B. WREDE: Ann. Physik **5**, 823—839 (1929).

Photographiert man das Spektrum des Unterwasserfunkens, so zeigen die Aufnahmen mit zunehmender Entladungsenergie eine Verschiebung der Schwärzung nach dem Gebiete der



Schaltungsplan.

kurzen Wellen, stark ausgeprägt bei Elektroden aus Zink, Cadmium, Kupfer, Blei oder Zinn, weniger deutlicher bei solchen aus Aluminium und Magnesium. Dagegen war eine solche Ver-

schiebung im Luftspektrum bei keinem der Metalle zu beobachten.

Da bei der Wärmestrahlung mit zunehmender Temperatur ebenfalls eine Verschiebung des Energiemaximums in Richtung kürzerer Wellen eintritt — WIENsches Verschiebungsgesetz —, so liegt die Frage nahe, ob die zunächst rein qualitativ beobachtete Erscheinung beim kontinuierlichen Spektrum des Unterwasserfunkens auch quantitativ dem gleichen Gesetz folgt, d. h. ob Temperaturstrahlung im Unterwasserfunkenspektrum vorliegt.

Zunächst mußte man feststellen, ob die Schwärzungsverschiebung ins Ultraviolette hinein (bei dem an und für sich sehr großen Intensitätsunterschied der verglichenen Spektren) auch eine Energieverschiebung bedeutet. Dazu nahm man das Spektrum eines konstant brennenden Kohlekraters auf, indem man ihn unter gleichmäßiger Abschwächung durch eine mattgeschliffene Quarzscheibe in verschiedener Entfernung vor dem Spektrographen brennen ließ und die Belichtungszeit so wählte, daß ungefähr jedesmal die gleiche Schwärzung erreicht wurde. Mit Hilfe eines lichtelektrischen Photometers [Z. Instrumentenkde **65**, 313 (1925)] wurde die Schwärzung der einzelnen Platten gemessen. Man kam dabei zu dem Ergebnis, daß bei gleichbleibender Intensitätsverteilung auch die Schwärzungsverteilung bis herab zu $\lambda = 2800$ Å.E. die gleiche bleibt, unabhängig von der Intensität der einfallenden Strahlung.

Nunmehr hatte es Zweck, an die eigentliche Messung zu gehen. Man nahm auf derselben Platte mit unverändertem Strahlengang die Spektren der Zinkunterwasserfunken verschiedener Energie auf. Darauf wertete man die Schwärzungen mit einem KOCHschen Registrierphotometer aus. Zunächst mußten dazu die Elektrometerausschläge des Photometers mit einem rotierenden Sektor auf absolute Schwärzungen geeicht werden. Danach konnte man an die Ausmessung der Platten gehen. Das Ergebnis wurde jedesmal in Form einer Kurve zusammengefaßt, bei der man die Schwärzung in Abhängigkeit von der Wellenlänge darstellte. Die Arbeit führt als Beispiel vier solcher Kurven an, bei deren Ermittlung man die folgenden Versuchsbedingungen innehielt.

Kurve	Anregungsfunkenstrecke F	Belichtungszeit
1	klein ($F < 2$ mm)	40 Sek.
2	desgl.	2 Min.
3	groß ($F = 10$ cm)	1 Sek.
4	desgl.	3 Sek.

Die Kurve 2 kleiner und die Kurve 4 großer Energie schneiden sich bei der Wellenlänge 3300 Å.E. Bei derselben Wellenlänge liegt auch der Schnittpunkt der Kurve 1 kleiner Energie und der Kurve 3 großer Energie mit demselben Verhältnis der Belichtungszeit. Das entspricht dem Schwärzungsgesetz, nach welchem die mit verschiedenen Intensitäten und Belichtungszeiten für eine Wellenlänge erhaltenen gleichen Schwärzungen wieder gleich sind, wenn Belichtungszeiten oder Intensitäten im gleichen Verhältnis geändert werden. Oberhalb 3300 Å.E. verlaufen die Schwärzungen der Spektren 1 und 2 kleiner Energie über den Schwärzungen der entsprechenden Spektren 3 und 4 großer Energie, unterhalb 3300 Å.E. umgekehrt. Der Schwärzungsverlauf ist also stärker geneigt nach Ultraviolett bei der kleinen Funkenenergie; es findet demnach mit zunehmender Energie eine Verschiebung der ausgestrahlten Energie ins Gebiet der kürzeren Wellen hin statt.

Um schließlich quantitativ einwandfrei die Frage zu entscheiden, ob Temperaturbestrahlung vorliegt, sah man zu, ob die Versuchsergebnisse sich mathematisch in ebenso übersichtlicher Form darstellen lassen wie die Erscheinungen der Temperaturstrahlung. Dazu brachte man zunächst das auch im Violett noch nahezu streng gültige WIENsche Strahlungsgesetz auf eine übersichtlich zu deutende Form.

$$E_\lambda = \frac{c_2 \cdot h}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda \cdot T}}$$

führt zu $\log E_\lambda = \log\left(\frac{c_2 \cdot h}{\lambda^5}\right) - \frac{c_2}{\lambda \cdot T} \cdot \log e.$

Die Differenz der Energielogarithmen zweier Spektren verschiedener Temperatur ist dann für die Wellenlänge λ:

$$\log E_{\lambda T_1} - \log E_{\lambda T_2} = A + \frac{1}{\lambda} \cdot \left(\frac{c_2}{T_2} - \frac{c_2}{T_1}\right) \cdot \log e$$

oder $$\log \frac{E_{\lambda T_1}}{E_{\lambda T_2}} = A + \frac{1}{\lambda} \cdot \text{const.}$$

A (unabhängig von λ) ist durch das Intensitätsverhältnis der Lichtquellen bestimmt.

Die Differenz der Energielogarithmen zweier Spektren verschiedener Temperatur hängt linear von $\frac{1}{\lambda}$ ab. An der Erfüllung dieser Bedingung läßt sich prüfen, ob im kontinuierlichen Spektrum des Unterwasserfunkens Temperaturstrahlung vorliegt oder nicht.

Da die Messungen zunächst Schwärzungen bzw. Schwärzungsverhältnisse liefern, so müssen diese nunmehr auf Energien bzw. Energieverhältnisse umgewertet werden. Dies erfordert eine nähere Betrachtung des Zusammenhanges von Schwärzung und Energie, die ausführlich hier nicht wiedergegeben werden soll. Teils werden hierzu experimentelle Ergebnisse, teils mathematische Ansätze und Umformungen benutzt, und man gelangt schließlich zu folgendem Ergebnis:

$$\log E_{\lambda T_1} - \log E_{\lambda T_2} = \frac{S_1 + S_2 - S_3 - S_4}{S_1 - S_2 + S_3 - S_4} \cdot 0{,}4.$$

Hierin bedeuten S_1, S_2 usw. die Schwärzungen der Spektren 1, 2 usw. für dieselbe Wellenlänge.

Trägt man nunmehr den Quotienten der Energielogarithmen als Funktion von $\frac{1}{\lambda}$ auf, so erhält man eine Gerade, bis auf erklärliche Abweichungen (Absorption von Strahlung im Wasser, Streuung im Emissionsgebiet der Zinklinien). Damit ist das Vorliegen von Temperatur-

strahlung im Unterwasserfunkenspektrum sichergestellt.

Durch Vergleichung der Spektren von Unterwasserfunken und Kohlebogenkrater ermittelte man die Temperatur des Unterwasserfunkens bis auf etwa 10% genau zu 7500° abs. bei geringer Entladungsenergie, zu 10000° abs. bei hoher Energie. Dabei ist die Temperatur des Kohlekraters zu 3800° abs. angenommen.

Über die Beobachtungsgrundlagen der Hypothese von der Ausdehnung des Weltalls. Von OSKAR MATHIAS in Graz.

a) Einleitung.

Vor etwa zwei Jahrzehnten wußte man über die Stellung der Spiralnebel im Kosmos noch wenig. Wohl waren ihre interessanten Formen vielfach studiert worden; aus Schätzungen, die sich auf Auszählungen kleiner Himmelsgebiete gründen, kannte man ihre außerordentlich große Anzahl (etwa eine halbe Million); ihr Licht zeigt fast durchweg ein kontinuierliches Spektrum im Gegensatz zu den diffusen Gasnebeln; an vielen Stellen des Himmels fand man Anhäufungen von Spiralnebeln, sog. Nebelhaufen, die mitunter eine große Anzahl einzelner Objekte enthalten (nach Zählungen mit den größten derzeit vorhandenen Instrumenten bis gegen 800). Über ihre Stellung im Raum aber, also über ihre Entfernungen von uns, wußte man damals noch nichts Sicheres. Es gab nur mehrere Anzeichen dafür, daß sie außerordentlich weit entfernt sein müssen. Diese Anzeichen sind die folgenden: Erstens versagen die Versuche, ihre Distanzen trigonometrisch zu bestimmen; offenbar, weil die Parallaxe zu klein ist, um nach dieser Methode ermittelt werden zu können. Zweitens ist die Sternverteilung, selbst der schwächsten Sterne, in der Umgebung der Spiralnebel in keiner Weise durch deren Ort beeinflußt. Diese Nebel müssen also weiter entfernt sein als die schwächsten Sterne, die bei solchen Untersuchungen noch gezählt werden, weil sie andernfalls die hinter ihnen liegenden Sterne verdecken müßten. Drittens fehlen die Spiralnebel im Gürtel der Milchstraße fast ganz, was durch Absorption ihres Lichtes durch die diffusen galaktischen Nebelmassen leicht erklärt werden kann, wofern man annimmt, daß die Spiralnebel außerhalb der Milchstraße liegen. Und schließlich sprechen auch die aus dem Dopplereffekt erschlossenen großen Radialgeschwindigkeiten für eine große Entfernung. Denn die Erfahrung hat gezeigt, daß, zu je größeren Systemen man aufsteigt, man um so größere mittlere Geschwindigkeiten (relativ zueinander) bei ihnen vorfindet. So sind die Geschwindigkeiten der Planeten im Mittel von der Größenordnung 20 km/sec, bei den Fixsternen unseres engeren Systems überschreiten die Radialgeschwindigkeiten nur selten den Wert 80 km/sec, bei den sehr weit entfernten Kugelhaufen kommen Radialgeschwindigkeiten gegen 200 km/sec vor. Für die Radialgeschwindigkeiten der Spiralnebel fand nun SLIPHER Werte bis zu 1800 km/sec. Es ist daher die Vermutung naheliegend, daß diese Nebel Weltsysteme weit außerhalb unseres Milchstraßensystems sind.

SLIPHER untersuchte seit dem Jahre 1912 die Radialgeschwindigkeiten von 43 der helleren Spiralnebel und fand dabei außer ungewöhnlich großen Werten noch eine ganz auffallende Gesetzmäßigkeit: nur 5 Objekte haben eine negative Radialgeschwindigkeit, nähern sich uns also, während die übrigen 38 alle positive Radialgeschwindigkeiten zeigen. Außerdem ist der Mittelwert der negativen Geschwindigkeiten (— 130 km/sec) dem Betrage nach viel kleiner als jener der positiven (+ 670 km/sec), und die größte negative Geschwindigkeit (— 315 km/sec) ist absolut genommen klein gegen die größte positive (+ 1800 km/sec). Im Mittel weichen also die Spiralnebel nach allen Seiten von unserem Sonnensystem zurück, das Universum dehnt sich durch das Wachsen der Entfernungen zwischen seinen großen Teilsystemen gewissermaßen aus. Das ist eine so bemerkenswerte und interessante Tatsache, daß sie einer eingehenderen Untersuchung würdig ist. Eine solche wurde möglich durch eine Reihe Methoden, die ersonnen wurden, um die Distanz der Spiralnebel zu bestimmen, sowie durch die Vergrößerung des Materials der gemessenen Radialgeschwindigkeiten. Beide Fortschritte beruhen zum Teile auf den Leistungen der großen amerikanischen Spiegelteleskope, die es ermöglicht haben, eine Fülle von Einzelheiten in den Spiralnebeln zu entdecken und, infolge ihrer Lichtstärke, die Radialgeschwindigkeiten auch bei sehr wenig hellen Objekten zu bestimmen.

b) Die lineare Beziehung zwischen Entfernung und Radialgeschwindigkeit der Spiralnebel.

Die eingehende Untersuchung der erwähnten Gesetzmäßigkeit wurde von den beiden amerikanischen Astronomen HUBBLE und HUMASON ausgeführt. Sie bestimmten die Radialgeschwindigkeiten und die Distanzen einer größeren Anzahl von Spiralnebeln und fanden eine ausgesprochen lineare Abhängigkeit dieser Größen, in der Weise, daß die Radialgeschwindigkeiten mit wachsender Distanz zunehmen, und zwar direkt proportional der Nebelentfernung.

Auf den ersten Blick könnte es vielleicht scheinen, daß aus diesem gemeinsamen Zurückweichen von unserem Sonnensystem auf eine ausgezeichnete Stellung des letzteren im Weltall geschlossen werden müßte. Das ist aber durchaus nicht der Fall, wie aus dem folgenden Bilde leicht zu ersehen ist. Denken wir uns eine aufgespannte Gummihaut, auf der kleine Tintenflecke dem Ort der einzelnen Spiralnebel entsprechen mögen. Wird die Haut von allen Seiten gleichmäßig gedehnt, dann rücken die Flecke mit Geschwindigkeiten, die ihrer Entfernung voneinander proportional sind, auseinander, und zwar unabhängig von dem besonderen Fleck, von dem aus man das Phänomen betrachtet. Es ist ferner klar, daß dieses zweidimensionale Bild sich leicht, auch an-

schaulich, für den wirklichen dreidimensionalen Fall verallgemeinern läßt[1].

Ersetzen wir die auf der Gummihaut unbeweglichen Flecke in dem obigen Bilde durch kleine Käfer, die mit geringer Geschwindigkeit über die Fläche kriechen, also eine kleine „Eigenbewegung" neben der „Systembewegung" besitzen. Dann wird es bei geringer Entfernung zweier Käfer vorkommen können, daß sie sich nähern, also eine negative Radialgeschwindigkeit haben, weil bei kleinen Entfernungen die positive, durch die Dehnung der Gummifläche erzeugte Geschwindigkeit klein ist und von einer negativen Eigenbewegung überwogen werden kann. Bei größeren Entfernungen hingegen wird immer die Systembewegung überwiegen, und hier werden keine negativen Geschwindigkeiten mehr vorkommen können. Wir sehen also, daß wir durch das Einbeziehen einer möglichen Eigenbewegung der Spiralnebel zu einer Erklärung der wenigen negativen Radialgeschwindigkeiten gelangen, von denen früher die Rede war.

Das letzte Bild macht uns auch noch auf einen wichtigen Umstand aufmerksam. Wir beobachten die Radialgeschwindigkeiten der einzelnen Nebel ja selbst von einem bewegten System aus. Wollen wir die Gesetzmäßigkeit der Dehnung ganz rein erhalten, so müssen wir uns von der Zufälligkeit dieser Eigenbewegung frei machen, das heißt sie berechnen und von den beobachteten Radialgeschwindigkeiten abziehen. Die Berechnung wird ganz ähnlich durchgeführt wie die Bestimmung der Eigenbewegung der Sonne relativ zu den Sternen ihrer Umgebung, wobei das Bezugssystem so definiert wird, daß in ihm die Vektorsumme der Geschwindigkeiten aller einbezogenen Sterne gleich Null ist. Berechnet man in ähnlicher Weise die Geschwindigkeit des Sonnensystems gegen die näheren und helleren Spiralnebel, so ergibt sich der Wert $v_\odot = 280$ km/sec, und die Richtung der Bewegung hat die Äquatorkoordinaten $\alpha = 97^0$, $\delta = -36^0$. Der Einfluß dieser Bewegung kann nun bei der Ableitung der Radialgeschwindigkeiten berücksichtigt werden. Es muß aber betont werden, daß das Resultat von HUBBLE von der Anbringung dieser Korrektur unabhängig ist und auch ohne sie die lineare Abhängigkeit klar zum Ausdruck kommt.

Das Ergebnis HUBBLES ist von großer Wichtigkeit, weil es eine Aussage über die Welt in ihren ganz großen Teilen macht. Die gemeinsame und dabei gesetzmäßige Fluchtbewegung der großen Sternsysteme kann unmöglich eine zufällige, auf die Umgebung unserer Weltinsel beschränkte sein, sondern es muß sich hier vielmehr um eine Erscheinung handeln, die eng mit den Grundeigenschaften der Materie, ihren Wirkungsfeldern, und mit ihrer Verteilung im Raume verbunden ist. Eine Fülle interessanter Spekulationen hat sich auch an HUBBLES Ergebnis geknüpft. Es sei in diesem Zusammenhange bloß auf das jüngst erschienene populäre Werk von A. S. EDDINGTON: „Dehnt sich das Weltall aus?" verwiesen. Es erhebt sich nun die Frage, inwieweit die HUBBLEsche Relation ein sicheres Resultat darstellt. Handelt es sich dabei vielleicht nur um eine auf vagen Schätzungen beruhende Korrelation?

Es soll das Ziel der folgenden Ausführungen sein, einen Einblick in diese Frage zu geben. Zu diesem Zwecke müssen wir jene Daten untersuchen, die in die HUBBLEsche Beziehung eingehen, und die Methoden, nach welchen sie gewonnen werden, in bezug auf die Vertrauenswürdigkeit ihrer Ergebnisse prüfen. D. h. wir haben die Methoden der Distanzbestimmung bei Spiralnebeln und der Bestimmung ihrer Radialgeschwindigkeiten zu besprechen.

c) Die Distanzkriterien.

Das Aussehen der Spiralnebel ist außerordentlich verschieden, wie ja aus den oft gebrachten Abbildungen populärer astronomischer Literatur bekannt ist. Vergleichen wir etwa zwei ganz extreme Typen, Messier 33 im Sternbild des Dreieckes mit den Individuen des Nebelhaufens im Löwen. Der erstere ist „auflösbar", d. h. es lassen sich auf Aufnahmen mit den großen Instrumenten eine Unzahl einzelner Sterne, aus welchen der Nebel besteht, erkennen, und überdies lassen sich deren Typen in vielen Fällen feststellen; man findet Veränderliche, Neue Sterne, Sterne der bekannten Spektraltypen, Kugelhaufen usw. Der Nebelhaufen im Löwen hingegen zeigt nur kleine verwaschene Fleckchen, oft kaum von einem Stern zu unterscheiden, so daß nur der geübte Fachmann sie sofort als Spiralnebel zu erkennen vermag. Bei diesen Objekten ist bloß die Gesamthelligkeit der Beobachtung zugänglich und günstigenfalls das Gesamtspektrum. Zwischen diesen extremen Typen gibt es alle möglichen Zwischenstufen. So gibt es Nebel, die mit den heutigen Instrumenten wohl noch teilweise auflösbar sind, ohne daß sich aber der Typus der einzelnen Sterne feststellen läßt, weil sie dazu bereits zu lichtschwach sind.

Von dem Aussehen der Spiralnebel hängt natürlich auch die Methode der Entfernungsbestimmung ab. Man kann da drei verschiedene Klassen unterscheiden: 1. Auflösbare Nebel mit feststellbarem Sterntypus. 2. Noch teilweise auflösbare Nebel, deren Sterntypen nicht mehr bestimmt werden können. 3. Für die heutigen Instrumente unauflösbare Nebel.

Alle Kriterien zur Distanzbestimmung haben einen gemeinsamen Zug: Es wird aus irgendwelchen Beobachtungsdaten ein Schluß auf die

[1] Analytisch ist es natürlich ebenso einfach einzusehen, daß durch eine solche Bewegung kein ausgezeichneter Standpunkt gekennzeichnet wird. Wenn in irgend einem Cartesischen Koordinatensystem die Koordinaten aller Massenpunkte um den Proportionalitätsfaktor k gewachsen sind, dann sind die Distanzen relativ zu einem herausgegriffenen, aber beliebigen Punkte $(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha)$ nach der Dehnung $d_i^{(k)} =$
$\sqrt{(k\cdot x_i - k\cdot x_\alpha)^2 + (k\cdot y_i - k\cdot y_\alpha)^2 + (k\cdot z_i - k\cdot z_\alpha)^2}$
$= k\cdot\sqrt{(x_i - x_\alpha)^2 + (y_i - y_\alpha)^2 + (z_i - z_\alpha)^2} = k\cdot d_i$,
also gleich dem k-fachen der entsprechenden Distanz vor der Dehnung und unabhängig vom Bezugspunkt.

absolute Helligkeit M des Gesamtnebels oder der eingeschlossenen Sterne gezogen und dann aus dieser und der direkt zu beobachtenden scheinbaren Helligkeit m nach einer einfachen Formel die Distanz berechnet[1]. Die gemeinsamen Voraussetzungen aller Kriterien sind die folgenden: Es wird angenommen, daß erstens die Natur in allen räumlichen Bereichen gleichförmig aufgebaut ist, daß also die in unserem Sternsystem gewonnenen Erfahrungen sich ohne Bedenken auch auf die entferntesten Gebilde gleicher Art übertragen lassen; zweitens, daß das Licht im Weltraum keine nennenswerte Absorption erfährt. Beide Hypothesen haben wichtige Stützen in der Erfahrung. Für die erste sei etwa an die Ähnlichkeit der Spektra, die Gleichartigkeit der beobachteten Sterntypen in allen jenen Weltsystemen erinnert, sowie an das mehr theoretische Argument, daß beim einheitlichen Aufbau der Materie aus Atomen auch die aus diesen zusammengesetzten Sterne in allen Teilen des Universums gleiche Entwicklungsmöglichkeiten und somit auch gleiche Typen zeigen müssen. Für die Absorptionslosigkeit des Weltraumes sprechen gewisse Erfahrungen an den kugelförmigen Sternhaufen, die unser Milchstraßensystem umgeben, ferner der Umstand, daß die Spektra auch der fernsten Nebel keine Absorptionsgebiete oder ungewöhnliche Energieverteilungen aufweisen.

Erste Klasse: Nebel mit Sternen bekannter Typen. Die Fixsterne sind kosmische Gebilde, die in außerordentlich großer Anzahl unser Milchstraßensystem aufbauen, viel näher liegen als die Spiralnebel und uns deshalb viel vertrauter sind als jene. Darum wird die Entfernungsbestimmung zunächst bei solchen Spiralnebeln möglich, in welchen einzelne Sterne bekannter Typen beobachtet werden können. Die wichtigste und sicherste Methode der Distanzbestimmung gründet sich auf die sog. Cepheiden.

Die Cepheiden, benannt nach dem bekanntesten Vertreter dieser Gruppe, dem Stern δ Cephei, sind veränderliche Sterne, deren Helligkeit sich in ganz bestimmter, gesetzmäßiger Weise periodisch mit der Zeit ändert. Miß LEAVITT entdeckte unter den veränderlichen Sternen in der kleinen Kapwolke (an Zahl über 1000) auch 26 Cepheiden und fand bei deren näherer Untersuchung, daß eine ganz ausgesprochene Gesetzmäßigkeit zwischen der Dauer der Periode und der absoluten Helligkeit besteht. Eigentlich beobachtete sie nur die scheinbaren Helligkeiten, aber da die Dimensionen der Kapwolke gegenüber ihrer Entfernung von uns gering sind, alle Sterne in ihr also näherungsweise gleich weit von uns entfernt sind, muß die scheinbare Helligkeit sich von der absoluten nur um eine Konstante unterscheiden[1]. Das ist

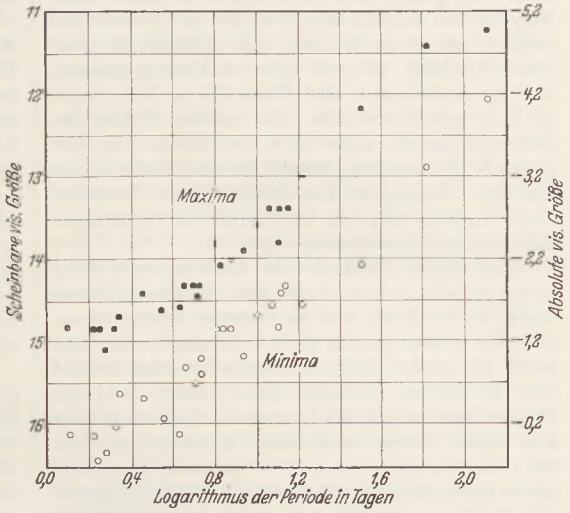


Fig. 1. Das Leuchtkraft-Perioden-Gesetz in der kleinen Kapwolke. (Nach H. S. LEAVITT.)

auch der Grund, weshalb die interessante Beziehung bei den Cepheiden in einem außerhalb unserer Milchstraße liegenden System gefunden wurde. Fig. 1 zeigt die scheinbare Helligkeit jener Cepheiden als Funktion des Logarithmus der Periode. Man sieht, daß die Gesetzmäßigkeit ganz scharf ausgeprägt ist; die Ursache davon interessiert uns hier nicht weiter. Die auf der rechten Seite der Figur angebrachte absolute Helligkeitsskala ist mit Hilfe jener Cepheiden unseres Sternsystems bestimmt worden, deren Entfernung nach anderen Methoden bestimmbar ist. Auch diese δ-Cephei-Sterne zeigen übrigens die deutliche Abhängigkeit der absoluten Helligkeit von der Dauer der Periode, ein Hinweis auf die universelle Gültigkeit dieser Beziehung.

Wird die Periode der Lichtschwankung eines Cepheiden in einem Spiralnebel beobachtet, was mit ziemlich großer Genauigkeit möglich ist, so kann aus unserem Diagramm seine absolute Helligkeit ermittelt werden. Aus dieser und der unmittelbar beobachteten scheinbaren Helligkeit läßt sich dann die Distanz sofort berechnen. Schon durch Beobachtung eines einzigen dieser Veränderlichen ist es also möglich, die Entfernung des Spiralnebels zu ermitteln. Die Genauigkeit der Bestimmung wird natürlich bedeutend erhöht,

[1] Die absolute Helligkeit M ist die in Größenklassen ausgedrückte Helligkeit in der Normalentfernung von 10 parsec. Die Größenklassen sind bekanntlich eine logarithmische Skala der scheinbaren Intensitäten I und mit diesen durch die Gleichung verknüpft: $m_1 - m_2 = -2{,}5 \log I_1/I_2$, wo I_1 und I_2 die scheinbaren Intensitäten zweier Objekte, m_1 und m_2 die ihnen zugeordneten scheinbaren Helligkeiten in Größenklassen bedeuten. Da die scheinbaren Intensitäten sich verkehrt proportional mit dem Quadrate der Entfernung ändern, so folgt leicht aus der Definition der absoluten Helligkeit und aus der die Größenklassen definierenden Gleichung die Distanzformel: $\log d = 0{,}2\,(m - M) + 1$, wobei d die Entfernung des Objektes gemessen in parsec bedeutet.

[1] Das ersieht man auch aus der Distanzformel, wenn d konstant gehalten wird.

wenn eine größere Anzahl solcher beobachtet werden kann, wie z. B. im großen Andromedanebel mit 36 Cepheiden, oder in dem schon oben erwähnten Messier 33 Trianguli, in dem bisher 22 solche Objekte bekannt sind. Die Verbesserung der optischen Hilfsmittel wird diese Zahlen wahrscheinlich noch beträchtlich zu steigern erlauben.

Auf einen Umstand muß hier aber besonders hingewiesen werden. Der Nullpunkt der absoluten Skala in der Fig. 1 ist nicht ganz sicher, weil die Entfernungen der Cepheiden unseres Sternsystems nicht mit genügender Genauigkeit bekannt sind. Nehmen wir an, daß da ein merklicher Fehler vorhanden ist, dann werden alle Distanzen nach dieser Methode zu groß oder zu klein gemessen, weil gewissermaßen der Maßstab zu kurz oder zu lang gewählt wurde. Ein solcher Fehler im Maßstab ändert aber alle Distanzen um den gleichen Proportionalitätsfaktor und kann daher die Gesetzmäßigkeit der HUBBLEschen Relation nicht ändern, sondern höchstens die Konstante des linearen Zusammenhanges.

Eine zweite Methode der Entfernungsbestimmung gründet sich auf die Novae, die Neuen Sterne, deren Aufleuchten, wie in unserem Sternsystem, so auch in den großen Nebeln häufig beobachtet wird. Im großen Andromedanebel wurden bereits über 80 Novae entdeckt. Man machte bald die Wahrnehmung, daß die maximale absolute Helligkeit dieser Sterne erstaunlich konstant ist, was bei einem bestimmten Nebel auch die Konstanz der scheinbaren Helligkeiten zur Folge hat, weil alle Entfernungen zu den einzelnen Sternen des Nebels einander nahezu gleich sind. Das Maximum der absoluten Helligkeit hat den Wert $M_{\max.} = -6{,}1^{m} \pm 0{,}2^{m}$, welcher Wert mit Hilfe der Novae bekannter Parallaxe in unserem System bestimmt wird, oder aus der Helligkeit Neuer Sterne in Nebeln, deren Distanz nach der Cepheiden-Methode bereits ermittelt wurde[1]. Die mittlere Streuung von bloß 0,2 Größenklassen ist dabei auffallend klein. Diese Tatsache gibt uns wieder ein Distanzkriterium. Beobachtet man in einem Spiralnebel das Maximum der Helligkeit Neuer Sterne, so kann daraus und aus dem eben angeführten Wert der entsprechenden absoluten Helligkeit die Entfernung leicht ermittelt werden. Auch hier wächst mit der Anzahl der vermessenen Sterne aus begreiflichen Gründen die Genauigkeit und Sicherheit der Bestimmung.

Ganz ähnlich, wenn auch weniger sicher, lassen auch noch andere Sterntypen einen Schluß auf ihre absolute Helligkeit zu. So die unregelmäßig Veränderlichen, die Heliumsterne, die P-Cygni-Sterne und die kugeligen, sowie die offenen Sternhaufen, bei welchen sowohl die Dimensionen als auch die absoluten Gesamthelligkeiten in nicht sehr weiten Grenzen schwanken, so daß sie brauchbare Distanzkriterien geben. LUNDMARK hat z. B. die Distanz des Andromedanebels nach 7 verschiedenen Methoden untersucht und findet die beste Übereinstimmung der Resultate, soweit sie überhaupt erwartet werden kann[1]. Bis auf die Unsicherheit in der Skala sind also die so erhaltenen Ergebnisse durchaus verläßlich.

Nach diesen Methoden, die sich auf die Beobachtung von Sternen bekannter Typen gründen, sind die Distanzen von 10 Spiralnebeln bestimmt worden. Diese liefern das Fundament, auf das die weiteren Schlüsse aufgebaut werden. Nun sind die Nebel schon einer näheren Untersuchung zugänglich. Aus der bekannten Entfernung und der Gesamthelligkeit kann die absolute Helligkeit M_N des ganzen Nebels berechnet werden, ebenso auch die absolute Helligkeit der hellsten eingeschlossenen Sterne M_S. HUBBLE findet mit Hilfe der 10 Nebel für ihre mittlere Gesamthelligkeit M_N (vis.) $= -14{,}7^{m} \pm 1{,}5^{m}$ [2], wobei der gesamte Spielraum der beobachteten Helligkeiten $5{,}0^{m}$ beträgt, und für die absolute Helligkeit der eingeschlossenen hellsten Sterne M_S (phgr.) $= -6{,}1^{m} \pm 0{,}4^{m}$, bei einem Spielraum von bloß $1{,}8^{m}$. Wir sehen, daß die absolute Helligkeit der hellsten Sterne genau mit jener der Novae übereinstimmt, was sicherlich kein Zufall ist, sondern damit zusammenhängt, daß der Leuchtkraft der Sterne eine ziemlich scharfe obere Grenze gesetzt ist.

Hier muß noch erwähnt werden, daß die Nebelphotometrie noch mit mancherlei Schwierigkeiten zu kämpfen hat. Von der Genauigkeit der Messungen und von der Sicherheit der photometrischen Skala hängt natürlich in weitgehender Weise auch das Resultat der Entfernungsbestimmungen hier und bei den weiter zu besprechenden Klassen ab. Wenn auch systematische Fehler noch durchaus möglich sind, so können sie doch das Resultat nur ähnlich beeinflussen, wie die schon früher erwähnte Maßstabskorrektion.

Zweite Klasse: Auflösbare Nebel ohne die Möglichkeit einer Typenbestimmung. Die Sterne, die man in solchen Nebeln noch einzeln wahrnehmen kann, sind natürlich die hellsten des betreffenden Systems. Nun kennen wir aber deren absolute Helligkeit bereits, die nur wenig um den Wert $-6{,}1^{m}$ schwankt, und können aus dieser und der scheinbaren Helligkeit ihre Entfernung berechnen. Die mittlere Streuung der M_S von $\pm 0{,}4^{m}$ entspricht einem Fehler in der Distanzbestimmung von etwa $\pm 20\%$. Bei Verwendung mehrerer Sterne wird dieser Fehler durch Mittelbildung natürlich weit herabgedrückt.

[1] Ein hochgestelltes m bei Zahlenangaben heißt „Größenklassen" (magnitudo).

[1] K. LUNDMARK: Über die Bestimmung der Entfernungen, Dimensionen, Massen und Dichtigkeiten für die nächstgelegenen anagalaktischen Sternsysteme. Vierteljahrschr. astronom. Ges., Jg. 65, Heft 3—4.

[2] Diese Helligkeiten beziehen sich auf visuelle photometrische Messungen, jene der hellsten Sterne auf photographische. Beide Helligkeiten sind wegen der verschiedenen Empfindlichkeit des Auges und der photographischen Platte voneinander verschieden. Der Unterschied zwischen den Zahlenwerten der photographischen und visuellen Helligkeit eines Objektes wird sein „Farbenindex" genannt.

Nach dieser Methode haben HUBBLE und HUMASON die Distanzen von 40 Objekten abgeleitet. Dieses Beobachtungsmaterial läßt sich aber nun auch verwenden, um den Wert der mittleren Gesamthelligkeit eines Nebels zu verbessern, da der oben angegebene ja bloß auf den Mittelwerten von nur 10 Objekten beruht. Der direkten Beobachtung zugänglich sind die scheinbaren Helligkeiten des Nebels m_V und der hellsten Sterne in ihm m_S, daher auch die Differenz $m_V - m_S$. Diese Differenz ist aber dem Unterschied der entsprechenden absoluten Helligkeiten gleich, denn wenn der Nebel auf die Normaldistanz von 10 parsec gebracht würde, so würde seine Intensität und die der eingeschlossenen Sterne im gleichen Verhältnis wachsen; daher nehmen die Größenklassen, die ja Intensitätsverhältnisse messen, um denselben Wert zu. Es ist also:

$$m_S - m_N = M_S - M_N. \qquad (1)$$

Für die $(m_S - m_N)$ finden die genannten Forscher als Mittelwert aus 40 Objekten die Zahl $8{,}88^m \pm 0{,}77^m$. M_S ist aus dem Früheren bekannt, und zwar wegen der geringeren Streuung mit größerer Sicherheit als das M_V. Daher läßt sich das M_V aus der Gleichung (1) berechnen. Es ist:

$$M_N = M_S - (m_S - m_N) = -6{,}1^m - 8{,}9^m = -15{,}0^m.$$

Im Mittel mit dem früher berechneten Wert ($-14{,}7^m$) findet man, wenn man beachtet, daß der letzteren Bestimmung wegen der geringeren Streuung und der größeren Anzahl der verwendeten Nebel ein höheres Gewicht zukommt: $M_V(\text{vis.}) = -14{,}9^m$[1]. Aus diesem Mittel folgt umgekehrt wieder aus der Gleichung (1) für das verbesserte M_S: $M_S = -6{,}0^m$. Da der Farbenindex der Spiralnebel, also der Unterschied zwischen ihrer photographischen und visuellen Helligkeit, im Mittel gleich $+1{,}1^m$ ist, so wird M_N (phgr.) $= -13{,}8^m$.

Es verdient noch erwähnt zu werden, daß die Gesamtstreuung der $(m_S - m_N)$ bei den untersuchten 40 Nebeln genau der Streuung der M bei den 10 Standardnebeln entspricht, ein Hinweis darauf, daß die Streuung der M_S klein ist gegen die der M_N.

Dritte Klasse: Nicht auflösbare Nebel. Bei den Gebilden dieser Klasse ist nur die Gesamthelligkeit meßbar und die Dimension. Die letztere gibt kein gutes Distanzkriterium, da der Durchmesser des Nebelbildes auf der photographischen Platte stark von der Belichtungszeit und der Empfindlichkeit der letzteren abhängt und ein Fehler in der Durchmesserbestimmung, selbst wenn alle Nebel die gleichen wahren Durchmesser hätten, mit dem gleichen Prozentsatz in die Bestimmung der Entfernung eingehen würde. Wegen des großen Spielraumes in den absoluten Helligkeiten M_V ($\pm 2{,}5^m$) ist auch die Distanzberechnung auf Grund der Gesamthelligkeit sehr unsicher, wofern es sich um ein einzelnes Objekt handelt. (Ein Fehler von 2,5 Größenklassen in der absoluten Gesamthelligkeit würde die zu messende Entfernung auf etwa das dreifache ihres Wertes verändern.) Ganz anders liegt die Sache aber bei den Nebelhaufen, wo die mittlere Helligkeit einer großen Anzahl einzelner Nebel direkt aus den Beobachtungen bestimmt werden kann. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Glieder eines Haufens auch physisch zusammengehören. Für die physische Verbundenheit sprechen sowohl Wahrscheinlichkeitsüberlegungen (große Anzahl auf sehr kleinem Areal), als auch die Radialgeschwindigkeiten, die für die einzelnen Nebel eines Haufens wenig verschiedene Werte haben. Daher können wir auch hier wieder annehmen, daß die Entfernungen der Nebel eines Haufens von unserem Sonnensystem nur wenig voneinander verschieden sind und die Verteilung der scheinbaren Helligkeiten deshalb auch die Verteilung der absoluten wiedergibt. Man findet, daß auch in den Nebelhaufen der Spielraum der Helligkeiten um den mittleren Wert $\pm 2{,}5^m$ beträgt, die absoluten Helligkeiten also in einem Bereich von 5 Größenklassen liegen, was mit dem oben gefundenen Bereich bei den Standardnebeln ausgezeichnet übereinstimmt.

Bei den helleren Nebelhaufen, wo die Helligkeit der schwächsten Glieder noch innerhalb der Leistungsgrenzen des Instrumentes liegt, wird die mittlere scheinbare Helligkeit der Nebel im Verein mit dem oben gefundenen Mittelwert der absoluten Helligkeit wieder ein verläßliches Distanzkriterium geben. Bei lichtschwachen Haufen hingegen, wo die schwächsten Nebel einer Messung nicht mehr zugänglich sind, wird die Helligkeit einiger der hellsten Glieder bestimmt und mit der absoluten Helligkeit solcher Objekte ($M_{N\,\max.} = -13{,}8^m - 2{,}5^m = -16{,}3^m$) die Entfernung ermittelt. Nach dieser letzteren Methode sind Distanzen bis zu 32 Millionen parsec (= 104 Millionen Lichtjahre) bestimmt worden, nämlich beim Nebelhaufen im Löwen.

Die Sicherheit der Entfernungsbestimmung hängt natürlich von der Klasse ab, der der betreffende Nebel angehört. Am sichersten sind die 10 Standardnebel (1. Klasse) bestimmt, wo nur die Unsicherheit im Maßstab noch bedeutend sein kann. Aber auch in den beiden anderen Klassen sind die erhaltenen Resultate noch durchaus verläßlich, und die gesamte Unsicherheit in der Entfernungsbestimmung wird von HUBBLE auf etwa 20% geschätzt. Da überdies die ermittelten Distanzen wieder statistisch verwendet werden, so daß es auf eine Streuung in den Einzelwerten nicht ankommt, so müssen wir schließen, daß die HUBBLEsche Relation von seiten der Distanzbestimmung her nicht verfälscht werden kann.

d) Die Radialgeschwindigkeiten.

Die Radialgeschwindigkeiten der Gestirne werden bekanntlich aus den Verschiebungen der Spektrallinien nach dem DOPPLERschen Prinzip berechnet. Bei den hellen Nebeln bereitet die Messung der Linienverlagerung keine Schwierigkeiten; denn hier sind Spektrographen mit verhältnismäßig großer Dispersion anwendbar, und die Spektra zeigen daher viele Absorptionslinien,

[1] Diese Helligkeiten sind visuelle, weil die m_V auf visuellen Messungen beruhen.

die leicht zu identifizieren sind. Anders aber bei den schwachen und schwächsten Nebeln, wo nur mit den größten Instrumenten und speziell für diesen Zweck gebauten Spektralapparaten noch ausmeßbare Photographien des Spektrums erhalten werden können. Um die Lichtstärke des Spiegelfernrohres auch voll auszunutzen, muß der Spektrograph eine besonders große Öffnung besitzen, und seine Dispersion muß sehr klein sein, damit bei nicht unmäßig hohen Belichtungszeiten noch meßbare Linienspuren auf der Platte entstehen. Der von HUMASON bei den schwächsten Nebeln mit bestem Erfolge verwendete Apparat hatte eine Dispersion von 875 Å.E./mm (für die Wellenlinie 4500 Å.E.). Bei dieser geringen Dispersion beträgt die Gesamtlänge des sichtbaren Spektrums kaum 1 mm. Mit Hilfe einer starken Vergrößerung sind in solchen Spektren im allgemeinen 4 Linien erkennbar, oft auch einige mehr, deren Lage gegen die entsprechenden im Vergleichsspektrum vermessen werden kann. Bei den außergewöhnlich großen Rotverschiebungen in den Spektren der entferntesten Spiralnebel besteht die Gefahr, daß, wenn nur zwei oder drei Linien beobachtbar sind, sie unrichtig identifiziert werden und man infolgedessen zu falschen Werten für die Radialgeschwindigkeiten gelangt. Es muß daher darauf geachtet werden, daß mindestens mehrere Spektrallinien als Linien bekannter Elemente erkannt werden. Eine Erleichterung dieser Aufgabe liegt in der Tatsache, daß die Spektra aller Spiralnebel große Ähnlichkeiten aufweisen und ihre Spektralklassen nur eine geringe Streuung um eine mittlere Klasse (G_3 der Harvadklassifikation) zeigen. Besonders die H- und K-Linien des Kalziums sind in allen Nebelspektren leicht wiederzuerkennen.

Als Beispiel für die trotz der technischen Schwierigkeiten bei der Messung erreichbare Genauigkeit seien die Resultate HUMASONS für das hellste Objekt im Nebelhaufen des Löwen angeführt. Es lassen sich im Spektrum 5 Linien ohne die geringste Unsicherheit agnoszieren. Die Rotverschiebung der Linien ist enorm groß; die Wellenlänge der H-Linie z. B. erscheint um 260 Å.E. vergrößert. Im Mittel ergibt sich für die Radialgeschwindigkeit dieses Nebels der Wert: $v_R = +\ 19{,}700 \pm 300$ km/sec. Der mittlere Fehler, der aus einer großen Anzahl von Einzelmessungen abgeleitet ist, ist, wie man sieht, relativ sehr klein und beträgt bloß 1,5% des gemessenen Wertes. Die Geschwindigkeit dieses ungeheuer weit entfernten Nebels ist nahezu $^1/_{15}$ der Lichtgeschwindigkeit. Dabei ist dieser Rekord durch einen in jüngster Zeit entdeckten Nebel bereits überboten worden.

Wegen dieser außerordentlich großen Werte der Rotverschiebungen sind Zweifel laut geworden, ob ihre Deutung nach dem DOPPLERschen Prinzip auch richtig sei. Der Grund für diese Einwände dürfte wohl in dem Glauben an ein statisches und stabiles, d. h. in seinen großen Teilen im ganzen unveränderliches, Universum liegen. Solche Einwände scheinen aber deshalb keine Berechtigung zu haben, weil man über das Universum von vornherein nichts weiß und die Ergebnisse einer rationellen Forschung einfach hinnehmen muß und soll, gleichgültig ob sie nun zu irgendeiner vorgefaßten Ansicht passen oder nicht. Das DOPPLERsche Prinzip hat sich bisher überall ausgezeichnet bewährt: im Laboratorium, wie die Versuche von BELOPOLSKI und von GALITZIN und WILIP gezeigt haben; im Sonnensystem, wie die spektroskopische Herleitung der Rotationsgeschwindigkeiten der Planeten ergeben haben; bei den Doppelsternen, wie deren Bahnbestimmungen zeigen; die Bewegung der Sonne gegen die näheren Sterne ist auf Grund spektroskopisch abgeleiteter Radialgeschwindigkeiten ermittelt worden und in guter Übereinstimmung mit dem aus den Eigenbewegungen gefundenen Resultat. Es scheint daher durchaus inkonsequent, plötzlich bei den großen Rotverschiebungen der Spiralnebel diese Deutung aufzugeben und nach anderen Ursachen für die ungewöhnlich großen Linienverschiebungen zu suchen. Selbstverständlich ist es denkbar, daß einmal auf Grund positiver Erfahrungen die Deutung der Rotverschiebungen in den Spektren der Spiralnebel als DOPPLEReffekte aufgegeben werden müßte; heute besteht aber noch kein stichhaltiger Grund dafür.

Die abnorm großen Linienverschiebungen haben noch Effekte zur Folge, an die man sonst beim DOPPLERschen Prinzip nicht denkt, weil sie normalerweise verschwindend klein sind. Es sind dies die durch die Bewegung der Lichtquelle und durch die Änderung der Wellenlänge hervorgebrachten Intensitätsänderungen. Man muß da drei verschiedene Wirkungen auseinanderhalten. Zunächst hat nach der Grundgleichung der Quantentheorie, $W = h \cdot \nu$ (wo W die Energie eines Lichtquants, ν dessen Frequenz und h die PLANCKsche Konstante bedeuten), eine Änderung der Wellenlänge, also der Frequenz, auch eine Änderung der Energie des Quants zur Folge. Es transportiert dann jedes einzelne Lichtquant z. B. weniger Energie, und die Verminderung ist unabhängig von der Ursache der Frequenzänderung. Weiter wird eine Intensitätsänderung eintreten durch die Änderung der Anzahl der pro Zeiteinheit den Beobachter erreichenden Quanten. Diese Zahl ist bei relativ zum Beobachter bewegter Lichtquelle verschieden von der pro Zeiteinheit emittierten Quantenanzahl. Dieser zweite Effekt tritt natürlich nur bei bewegten Lichtquellen in Erscheinung. Beide eben besprochenen Intensitätsänderungen sind bolometrische Effekte, d. h. es werden durch sie die Energiewerte der einzelnen Spektrallinien in einem bestimmten Verhältnis geändert, das übrigens für beide Effekte näherungsweise gleich groß ist. Für Rotverschiebungen, die einer Radialgeschwindigkeit von 20000 km/sec entsprechen, beträgt die Helligkeitsänderung etwa $+\ 0{,}07^m$ für jeden dieser Effekte.

Ein dritter Intensitätseffekt rührt von der Änderung der Energieverteilung im Spektrum her. Die photographische Platte ist bekanntlich für rotes Licht viel weniger empfindlich als für blaues. Wird die Energiekurve des Spektrums gegen das rote Ende hin verschoben, so gelangt das Inten-

sitätsmaximum in ein Gebiet geringerer Plattenempfindlichkeit. Die Lichtspur eines Nebels mit großer Rotverschiebung wird demnach auf der Platte schwächer sein, als sie für den gleichen Nebel bei normaler Lage des Spektrums wäre; infolgedessen wird die photographisch gemessene Größenklasse eine höhere sein. Man findet mit Hilfe empirischer Daten, daß bei einer Rotverschiebung, die der Geschwindigkeit von 20000 km/sec entspricht, dieser Effekt etwa $0{,}25^{m}$ ausmacht, also eine schon merkliche Korrektur ergibt; diese ist auch von HUBBLE und HUMASON bei der Herleitung der Größenklassen der entferntesten Nebel in Rechnung gezogen worden.

e) Die HUBBLEsche Beziehung.

Über die interessante Beziehung zwischen der Entfernung und der Radialgeschwindigkeit der Spiralnebel sind zwei Arbeiten veröffentlicht worden. In der ersten nur von HUBBLE stammenden Mitteilung vom Januar 1929[1] sind insgesamt 45 Nebel verwendet worden, und zwar:

7 Standardnebel (1. Klasse),

13 Nebel der zweiten Klasse,

4 Nebel aus dem Nebelhaufen in der Jungfrau (3. Klasse; hier ist aber auch noch das Distanzkriterium der 2. Klasse anwendbar),

21 isolierte Nebel der 3. Klasse. Da in dieser Klasse bei einem einzelnen Objekt die Entfernungsbestimmung äußerst unsicher ist, sind die Entfernungen und die Radialgeschwindigkeiten aller 21 Nebel gemittelt worden und ergaben in Fig. 2 einen einzigen Punkt.

In Fig. 2 sind die Radialgeschwindigkeiten als Funktion der Distanzen eingezeichnet. Man sieht, daß die Streuung der Punkte, die die gemessenen Einzelwerte darstellen, noch ziemlich groß ist, was den hier noch vorwiegenden Eigenbewegungen zuzuschreiben ist. Das Kreuz, das die Mittelwerte der 21 isolierten Nebel wiedergibt, liegt sehr nahe der durch den Ursprung gehenden Geraden, die dem wahrscheinlichsten linearen Verlauf entspricht. Obwohl die Zunahme der positiven Radialgeschwindigkeiten mit wachsender Distanz unverkennbar ist, so ist doch aus diesem Material die Linearität der Beziehung kaum zu erweisen und auch die Richtungskonstante der Geraden nicht mit Sicherheit abzuleiten. Diese Ergebnisse fordern vielmehr eine Erweiterung des Zahlenmaterials, insbesondere für große Distanzen.

Die Erweiterung wurde in einer zweiten Arbeit von HUBBLE und HUMASON im März 1931 gegeben[2]. Das Beobachtungsmaterial war in folgender Weise vermehrt worden. Es waren vermessen:

Noch 3 Standardnebel,

noch 16 isolierte Nebel der 3. Klasse (diese geben wieder nur einen Punkt),

ferner 8 Nebelhaufen, wobei der in der Jungfrau mitgezählt ist.

Die Nebelhaufen befinden sich dabei in Entfernungen bis zu 32 Millionen parsec, während bei der ersten Formulierung die entferntesten

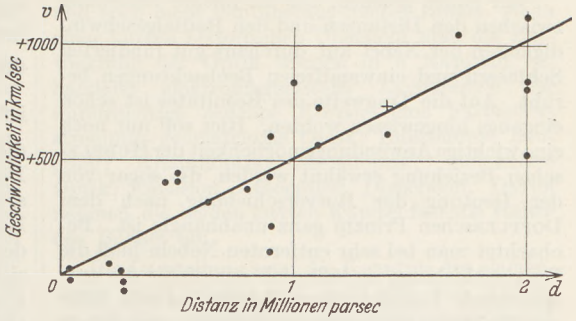


Fig. 2. Beziehung zwischen Radialgeschwindigkeiten und Entfernungen der Spiralnebel. (Nach HUBBLE.)

Objekte, die im Nebelhaufen der Jungfrau, 1,8 Millionen parsec (nach der revidierten Skala) entfernt waren.

Die Fig. 3 zeigt die erhaltenen Resultate. Hier ist der lineare Zusammenhang zwischen Entfernung und Radialgeschwindigkeit sofort in die Augen springend. Die 10 Kreuze beziehen sich auf die 8 Nebelhaufen und die beiden Gruppen isolierter Nebel, während die Punkte nahe dem

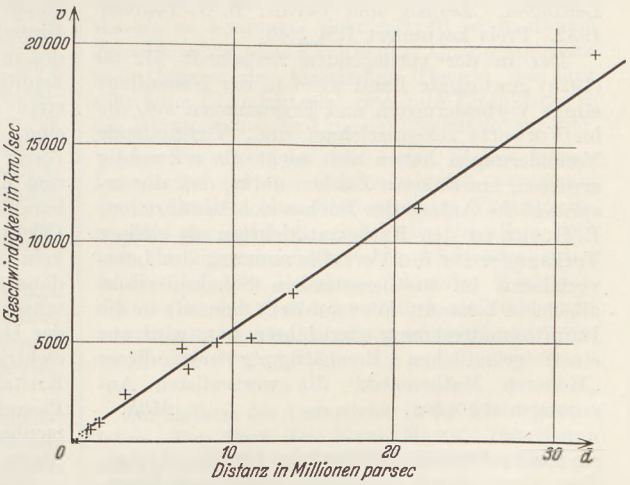


Fig. 3. Funktionaler Zusammenhang zwischen Radialgeschwindigkeit und Entfernung von Spiralnebeln. (Nach HUBBLE und HUMASON.)

Ursprung den einzelnen Nebeln zugehören, die größtenteils schon in der ersten Formulierung (Fig. 2) enthalten sind. Aus der gezeichneten Lage der Geraden, die der besten Darstellung aller Werte entspricht, ergibt sich die lineare Beziehung:

$$v_R = 558 \cdot d, \qquad (2)$$

wobei die Radialgeschwindigkeit v_R in km/sec, die Distanz d in Millionen parsec gemessen ist. Der Zahlenfaktor ist, wie schon früher erwähnt wurde, nicht völlig verbürgt, wegen der Unsicherheit in der Skala der Distanzmessung. Zukünftige

[1] Proc. nat. Acad. Sci. (U.S.A.) **15**, 168 (1929).
[2] Astrophysical Journ. **74**, 43 (1931).

Forschungen werden jedoch diese Unsicherheit zweifellos weit einzuschränken erlauben. Der lineare Zusammenhang steht nach Fig. 3 außer Frage.

f) Schluß.

Wir haben gesehen, daß die lineare Beziehung zwischen den Distanzen und den Radialgeschwindigkeiten der Nebel auf durchaus gut fundierten Schlüssen und einwandfreien Beobachtungen beruht. Auf die Tragweite des Resultates ist schon eingangs hingewiesen worden. Hier soll nur noch eine wichtige Anwendungsmöglichkeit der Hubbleschen Beziehung erwähnt werden, die sogar von der Deutung der Rotverschiebung nach dem Dopplerschen Prinzip ganz unabhängig ist. Beobachtet man bei sehr entfernten Nebeln bloß die Rotverschiebung, so läßt sich aus dieser die entsprechende Radialgeschwindigkeit und mit Hilfe der Gleichung (2) sofort die Distanz des Nebels berechnen. Die Hubblesche Relation liefert also für weit entfernte Nebel, bei denen die Eigenbewegungen gegen die Systembewegung klein sind, ein Distanzkriterium. Dabei ist der Übergang auf die Radialgeschwindigkeit offenbar unwesentlich, denn die Gleichung (2) läßt sich mit entsprechend geändertem Faktor auch so formulieren, daß sie die Distanz d mit den Verhältnissen der Wellenlängenänderungen $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ verknüpft. Dann ist für v_R der Ausdruck $c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ einzusetzen, wo c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Unser neues Distanzkriterium hat noch die merkwürdige Eigenschaft, daß die prozentuelle Genauigkeit seiner Resultate mit wachsender Entfernung wächst; denn da große Linienverschiebungen im Spektrum sich prozentuell genauer ausmessen lassen als kleine, so werden die ihnen entsprechenden aus Gleichung (2) ermittelten Werte der Entfernungen die gleiche Eigenschaft besitzen.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Höhere Mathematik. Für Mathematiker, Physiker und Ingenieure. Von R. Rothe. Teil I: Differentialrechnung und Grundformeln der Integralrechnung nebst Anwendungen. 4. verbesserte Auflage. Mit 161 Figuren im Text. VIII und 201 Seiten. Bd. 21 von Teubners Mathematischen Leitfäden. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1932. Preis kartoniert RM 5,40.

Der in der vorliegenden Zeitschrift 41, 50 (1928) gewürdigte Band weist in der Neuauflage einige Verbesserungen und Ergänzungen auf, die im Vorworte gekennzeichnet sind. Tiefgreifende Veränderungen haben sich nicht als notwendig erwiesen, ein sicheres Zeichen dafür, daß die ursprüngliche Anlage des Buches sich bewährt hat. R. Rothe ist den Mathematiklehrern als eifriger Vorkämpfer für die Vervollkommnung des Lehrverfahrens im mathematischen Schulunterricht allgemein bekannt. Wer auf der Oberstufe in die Infinitesimalrechnung einzuführen hat, wird aus einer gründlichen Beschäftigung mit dieser „Höheren Mathematik" die wertvollsten Anregungen schöpfen. *Mtth.*

Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik. 11. Auflage. Vierter Band, dritter Teil. Elektrische Eigenschaften und Wirkungen der Elementarteilchen der Materie. Bearbeitet von M. Dunkel, Köln, Chr. Gerthsen, Gießen, G. Kirsch, Wien, W. Kossel, Danzig, M. Steenbeck, Berlin, E. Teller, Göttingen, K. L. Wolf, Kiel. Herausgegeben von Arnold Eucken, Göttingen. Mit 390 Figuren im Text. Druck und Verlag von Friedr. Vieweg u. Sohn, A.-G. Braunschweig 1933. Preis geh. RM 54.—; geb. RM 58.—.

Der 4. Gesamtband des Müller-Pouilletschen Lehrbuches, der die gesamte Elektrizitätslehre umfaßt, erscheint bei dieser 11. Auflage, wie bereits in den früheren Besprechungen angegeben wurde, in 4 Teilbänden. Den ersten beiden Teilbänden, welche die Grundlagen der Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus einschließlich ihrer technischen Anwendungen behandeln, schließen sich dieser 3. Teilband und später der 4. Teilband an, die beide die Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus vom Standpunkte der heutigen Atomphysik zum Gegenstande haben. Der leitende Gesichtspunkt bei der Einteilung des 3. und 4. Bandes ergibt sich aus der in den letzten Jahrzehnten gewonnenen Erkenntnis, daß die Elementarteilchen der Materie stets entweder positiv oder negativ geladen sind, der Aufbau der Materie also elektrischer Natur ist. Der vorliegende 3. Teilband enthält nun in vorwiegend deduktivem Aufbau die Behandlung der eigentlichen Elementarteilchen (Elektronen, Protonen) und der Atome und Molekeln vom Standpunkte der Elektrizitätslehre; dann aber auch, weil es im Rahmen des Ganzen notwendig schien, eine ausführliche Schilderung der Gasentladungen, sowie desjenigen Teiles der elektrischen Eigenschaften der Lösungen und Kristalle (Dielektrizitätskonstante, Pyro- und Piezoelektrizität), die in unmittelbarem Zusammenhang mit den elektrischen Eigenschaften der Atome und Molekeln stehen.

Der 828 Seiten umfassende 3. Teilband berücksichtigt wohl alles, was an Forschungsergebnissen auf dem oben umrissenen Gebiet erarbeitet worden ist. Auch wo die Dinge noch im Fluß sind, wird gerade das Problematische der gegenwärtigen Situation herausgearbeitet. Bei der gewaltigen Fülle des Stoffes und der darüber vorliegenden Arbeiten ist es selbstverständlich, daß die den Text erläuternden Figuren überwiegend nur schematisch gehalten sind. Wer von den Physikern sich auf dem Gebiete dieser neuesten Forschung nicht auf dem Laufenden gehalten hat, findet in diesem Band eine umfassende Einführung. Schon in populärwissenschaftlichen Büchern liest man heute Sätze, bei denen der Ahnungslose mit dem Kopf zu schütteln leicht geneigt ist. Aber ein

Satz, wie „die Masse ist von der Geschwindigkeit abhängig", also keine Konstante, oder die Angabe, daß Korpuskularstrahlen (Protonen- und Elektronenstrahlen) die Erscheinungen der Beugung und Interferenz zeigen, daß also nach Schrödinger die Elementarteilchen der Materie als „Wellenpakete" anzusehen sind, der Substanzbegriff sich daher völlig verflüchtigt, sind alles andere als Phantasiegebilde. Der vorliegende Band bringt für diese Vorstellungen auf breitester Basis die Darstellung der experimentellen Grundlagen. Wenn man liest, die Dichte bei gewissen Sternen, z. B. dem dunklen Siriusbegleiter, sei zu 40 000 bestimmt worden, so schlägt diese Aussage zunächst allen irdischen Erfahrungen ins Gesicht. Die Undurchdringlichkeit der Materie gehörte bisher zu ihren Grundeigenschaften. Lenard aber erläutert an einem drastischen Beispiel, daß die wirklich undurchdringliche Masse eines Kubikmeters Platin sich etwa auf die Größe eines Stecknadelkopfes unter gewissen Umständen reduzieren läßt. Der Begriff der „totalen Ionisation" bringt erst Licht in diese Vorstellungen. Kein Physiklehrer darf heute mehr an dieser neuen physikalischen Vorstellungswelt vorübergehen, und versuchte er es, so könnte es geschehen, daß Schüler durch Fragen ihn zwingen, darüber Rede und Antwort zu stehen.

Das Müller-Pouilletsche Buch bietet durch die Darstellung an Hand der schematischen Figuren nur eine Einführung in diese Atomphysik. Aber auch derjenige, der sich forschend auf diesem Gebiete betätigen will, findet in dem Bande alles Notwendige, da in Fußnoten stets auf die Originalarbeiten verwiesen ist. Der Preis RM 54.— für diesen dritten Teilband ist gewiß nicht niedrig, aber er ist gerechtfertigt durch das, was er bringt. Lehrerbüchereien müßten unter allen Umständen die Möglichkeit finden, ihn anzuschaffen.

Steindel.

Nachträge 1933 zum zweiten Bande (4. Auflage 1924) von Dr. Karl Rosenberg, Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturkunde. 27 Seiten, 5 Abbildungen. Leipzig: G. Freytag A.G. 1933. Preis geb. RM 0.60.

In diesem Heftchen werden etwa 100 Versuchsbeschreibungen aus Zeitschriften und Büchern teils im Auszuge gebracht, teils mit Quellennachweis genannt. Außerdem teilt Verfasser einige Versuche mit, die an anderer Stelle nicht veröffentlicht sind. *Vn.*

Optik. Ein Lehrbuch der elektromagnetischen Lichttheorie. Von Max Born. VII und 591 S., mit 252 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1933. Preis geh. RM 36,—; geb. RM 38,—.

Wie der Verfasser im Vorwort betont, unterscheidet sich das vorliegende Buch von älteren Darstellungen der Optik durch die besondere Grenzziehung gegen andere Gebiete der Physik. Wie auch sonst üblich, sind die Hertzschen Wellen nicht, die Röntgen- und γ-Strahlen nur andeutungsweise behandelt. Die Optik bewegter Körper fehlt; sie läßt sich vollständig nur im Zusammenhang mit der Relativitätstheorie entwickeln. Es fehlen auch die genaueren Gesetzmäßigkeiten der Spektren; sie gehören in ein Lehrbuch der Atomphysik. Daß trotzdem genug für die eigentliche Optik übrig bleibt, zeigt der Umfang des Buches und noch mehr sein überaus reicher Inhalt. Nach einer kurzen historischen Übersicht über die Entwicklung der Optik werden in 8 Kapiteln behandelt: elektromagnetische Lichttheorie für durchsichtige isotrope Körper ohne Farbenzerstreuung; geometrische Optik; Interferenz; Beugung; Kristalloptik; Metalloptik; molekulare Optik; Emission, Absorption, Dispersion. Davon nehmen die beiden letzten Kapitel fast die Hälfte des Buches ein.

Die Darstellung setzt die Kenntnis der elementaren Optik voraus und stellt sich von Anfang an auf den Standpunkt der elektromagnetischen Lichttheorie. Sie ist eingehend, klar aufgebaut, gründlich und erschöpfend. Die Lektüre ist besonders auch dadurch interessant und lehrreich, daß alle Erscheinungen aus der allgemeinen Theorie heraus erklärt werden. Dabei werden stets (vgl. etwa den Raman-Effekt u. v. a.) die Grenzen der klassischen Erklärungsmöglichkeit deutlich herausgestellt. Auch bei der Behandlung von Emission, Absorption und Dispersion beschränkt sich der Verfasser auf die klassischen Methoden und baut diese so weit wie möglich aus, ohne in das eigentliche Gebiet der Quantentheorie zu kommen. Sehr reizvoll ist in diesem Zusammenhang das Kapitel über Quantenprozesse und Grenzen der klassischen Theorie, das eine sehr feine Übersicht und eine gute Einführung in die Heisenbergsche Ungenauigkeitsrelation gibt.

Im Text wird an sehr vielen Stellen erfreulicherweise auf die Originalarbeiten verwiesen, deren Studium den Studenten im Vorwort besonders anempfohlen wird. Alles in allem liegt hier ein überaus inhaltreiches, klar aufgebautes, in die Tiefe der Probleme führendes Werk vor, dessen (für den Studenten freilich vielleicht nicht immer ganz leichtes) Studium dringend und warm empfohlen werden kann. *Lamla.*

Zur Reform des Unterrichts in der Elektrizitätslehre. Von Prof. Dr. Karl Hahn. 198 Seiten mit 298 Figuren. Leipzig u. Berlin: B. G. Teubner 1933. Geb. RM 8,40; geh. RM 7,40.

Der Verfasser entwickelt in dem vorliegenden Buche die methodischen und sachlichen Gesichtspunkte, die ihn bei der Behandlung der Elektrizitätslehre in dem neuen, gemeinsam mit P. Henckel herausgegebenen Lehrbuch der Physik für höhere Lehranstalten geleitet haben. Dieses Lehrbuch unternimmt in seiner Ausgabe A den Versuch, die Pohlsche Darbietung der Elektrizitätslehre in den Schulunterricht einzuführen. Dem Bewußtsein, daß diese Darbietung trotz der bekannten Schwierigkeiten der bisherigen Entwicklung der Elektrizitätslehre im Unterricht der Oberstufe starken Bedenken seitens der Fachlehrer gegenüberstehen würde, und dem Wunsche, der Pohlschen Darstellung im Physikunterricht

der höheren Schulen die Bahn zu bereiten, verdankt das Buch seine Entstehung.

Die neue Darbietung verlangt bekanntlich von dem Lehrer eine völlige innere Umstellung in der Betrachtung und Darstellung elektrischer Vorgänge. Sie stellt an die Spitze die Begriffe „Elektrischer Strom", als Ausdruck für gewisse Beobachtungen wie Wärme, magnetische Vorgänge usw. (wobei unter Strom aber nicht etwas Strömendes, also keine elektrische Substanz zu denken ist) und „Elektrische Spannung", als Ausdruck für das Vorhandensein eines elektrischen Feldes, und baut auf dieser Grundlage das elektrische Maßsystem auf.

Mechanische Vorstellungen wie Kraftwirkung usw. werden grundsätzlich ausgeschaltet, entsprechend der Pohlschen Tendenz, die Elektrizitätslehre unabhängig von den Begriffen der Mechanik zu entwickeln. Ein Zugeständnis an die bisherige Darstellung wird nur insofern gemacht, als in der Unterstufe der Magnetismus im wesentlichen in der gewohnten Weise, also durch Kraftwirkung zwischen Magnetpolen, behandelt wird. Dabei wird allerdings die Darstellung des magnetischen Feldes durch Eisenspäne nicht durch Influenz erklärt (dieser Begriff wird grundsätzlich vermieden). Vielmehr dient die Anordnung der Eisenspäne lediglich als Indikator für die Feldlinien. Ebenso ist von Molekularmagneten, die als wichtiger Hilfsbegriff in der bisherigen Darstellung benutzt wurden, nicht die Rede. Soviel zur Charakterisierung des grundsätzlichen Standpunktes.

In allgemeinen methodischen Vorbemerkungen werden zunächst die Gründe entwickelt, die nach Ansicht des Verfassers den neuen Lehrgang besonders empfehlen. Dabei spielt das Ausgehen vom Erfahrungskreis des Schülers eine wesentliche Rolle, ferner die Möglichkeit, schon zu Beginn des Lehrganges quantitative Versuche bringen zu können, was bei der Reibungselektrizität sehr erschwert ist. Sodann folgt eine Darstellung des Lehrgangs, die als Kommentar für den Lehrer zu dem oben genannten Lehrbuch gedacht ist. Sie enthält Begründungen für die Besonderheiten der Stoffanordnung, zahlreiche Hinweise auf das Ziel der einzelnen Abschnitte, dikaktische Ausführungen über Anknüpfungspunkte und Übergänge zu neuen Betrachtungen, sowie vor allem sehr dankenswerte und ausführliche Angaben über die für den Lehrgang erforderlichen Apparate.

Einen besonders breiten Raum, etwa drei Viertel des Buches, nehmen die Ausführungen über die Oberstufe in Anspruch mit dem schwierigen Aufbau des Maßsystems und den zahlreichen quantitativen Versuchen zur Entwicklung der physikalischen Gesetze. Die Eigenschaften des elektrischen Feldes sind der heutigen Auffassung entsprechend besonders eingehend behandelt und auch bei Betrachtung der Strömungsvorgänge überall in den Vordergrund gerückt. Der anfangs streng vermiedene Begriff der elektrischen Ladung wird dann später durch die Einführung von „Elektrizitätsatomen" als Endpunkten der Feldlinien gewonnen und wie in der bisherigen Darstellung benutzt. Diese von Pohl übernommene Begriffsentwicklung ist für den Physiker außerordentlich interessant und wissenschaftlich korrekt. Ob sie aber dem Verständnis des Schülers besser angepaßt ist als die von der Ladung als der elektrischen Substanz ausgehende und diese, wissenschaftlich zwar weniger einwandfrei fundierte, dafür aber anschauliche Vorstellung konsequent pflegende bisherige Darstellung, muß stark bezweifelt werden. Wir müssen uns als Lehrer hierbei vergegenwärtigen, daß wir in unseren Klassen nicht Generationen von angehenden Physikern vor uns haben, und daß wir den Unterricht dem Verständnis des Durchschnittsschülers anpassen müssen, dem die Vorstellung eines Stromes, der letzten Endes durch die Zahl der pro Sekunde zerfallenden Feldlinien gemessen wird, vielleicht ein unübersteigbares Hindernis bedeutet.

Das eine muß jedenfalls festgestellt werden: Leichter als der bisherige Lehrgang ist die neue Darbietung der Elektrizitätslehre nur am Anfang. Die im Wesen dieses Zweiges der Wissenschaft liegenden Schwierigkeiten werden auch ihm nicht erspart und sind in Anbetracht der hochgesteckten Ziele sicher nicht geringer. Darum ist es besonders verdienstvoll, daß der Verfasser in dem vorliegenden Buch dem Physiklehrer die Möglichkeit gibt, sich über die Vorbedingungen zur Durchführung des Pohlschen Lehrganges im Unterricht der höheren Schulen zu informieren. Darüber hinaus wird aber jeder Physiklehrer beim Studium des Buches wertvolle Anregungen methodischer und praktischer Art finden. *Hauschulz.*

Technik voran! 1933. Jahrbuch mit Kalender für die Jugend. Herausgegeben vom Deutschen Ausschuß für technisches Schulwesen e. V. und vom Reichsbund deutscher Techniker e. V. 223 Seiten mit 8 Kunstbeilagen, 81 Abbildungen und 1 Kartenbeilage. Berlin: DATSch-Lehrmitteldienst 1933. Geb. RM 0,90 (bei Massenbezug Preisermäßigung).

Ein dünnes Büchlein im Taschenformat liegt vor mir; aber welche Fülle von Mitteilungen aus der Welt der Technik ist in ihm enthalten! Es ist ganz unmöglich, den gesamten Inhalt anzugeben; es seien nur einige Hauptabschnitte genannt: Mensch und Technik (darunter: Erfinder und Unternehmer im Gebiet der Verbrennungskraftmaschine), Technik und Natur (darunter: Neue Aufgaben der Polarforschung; Fortschritte und Errungenschaften der Technik 1931/32 u. a.), vom Bauwesen, vom Verkehr, von Luft- und Seeschiffahrt (Umwälzungen im Flugzeugbau u. a.), Sport und Technik u. v. a. Tafeln und Tabellen machen den Beschluß. Die Aufsätze sind von namhaften Fachleuten geschrieben (über die Aufgaben der Polarforschung schreibt z. B. Dr. Georgi); sie werden durch reiches und gutes Bildmaterial wirksam unterstützt. Die Darstellung ist überaus anregend und lehrreich; sie wird bei der Jugend zweifellos lebhafte Zustimmung und reges Interesse finden. Das Büchlein, das übrigens auch das übliche Kalendarium, astronomi-

sche Angaben und Notizblätter enthält, kann allen jungen Menschen auf das wärmste empfohlen werden. *Lamla.*

Die Naturwissenschaft auf dem Wege zur Religion. Leben und Seele, Gott und Willensfreiheit im Licht der heutigen Naturwissenschaft. Von Bernhard Bavink. Verlag: Moritz Diesterweg, Frankfurt a. M., 1933. Preis geh. RM 2.90.

Die 79 Seiten umfassende Broschüre bildet, wie der Verfasser im Vorwort mitteilt, den Niederschlag einer Reihe von Vorträgen, die er in zahlreichen deutschen Städten vor naturwissenschaftlichen Vereinen, theologischen Konferenzen, Arbeitsgemeinschaften und religiösen Vereinigungen gehalten hat. Der Verfasser stellt zunächst das klassisch mechanistische Weltbild dar, wie es sich auf Grund der Leistungen namentlich eines Galilei, Kepler und Newton entwickelt hat. Obwohl diese Forscher durchaus fromme Männer waren, ging von ihren Erkenntnissen eine geistige Bewegung aus, durch welche die Menschheit in immer stärkerem Maße dem Gottesglauben und dem Glauben an alles, was damit zusammenhängt, entfremdet wurde, so daß sie zuletzt teilweise in krassem Atheismus und Materialismus endigte. Die Aufdeckung der Gesetze, nach denen das Naturgeschehen auf den Gebieten der Physik, Astronomie und Chemie stattfindet, veranlaßte Laplace, den Gedanken auszusprechen, ein Geist, der alle Vorbedingungen kenne und die nötigen mathematischen Fähigkeiten besitze, sei in der Lage, alles Naturgeschehen nach vorwärts für die Zukunft und nach rückwärts für die Vergangenheit zu berechnen. Es ist begreiflich, daß dieses Weltbild, bei dem also die Welt als ein kunstvolles Uhrwerk erschien, das nach bestimmten Gesetzen abläuft, der Erhaltung eines für Religion und Ethik brauchbaren Gottesbegriffs und aller Begriffe, die damit zusammenhängen, abträglich werden mußte.

Sodann versucht der Verfasser in populärer Weise die Entwickelung der neuesten Naturforschung zu skizzieren, die zum völligen Abbau des mechanistischen Weltbildes führte. Es sei zwar gelungen, die meisten Gebiete der Physik auf eine mechanistische Grundlage zu stellen, aber bei der Elektrizität und dem Magnetismus seien die in diesem Sinne unternommenen Versuche gescheitert. Nur die vom elektrischen und magnetischen „Felde", also von einem mathematischen Begriff ausgehende Betrachtung führte zu einem folgerichtigen Aufbau. Zwar drangen hierbei noch einige mechanistische Substanzbegriffe, die des Elektrons und des Protons, wieder in die Elektromagnetik ein. Aber es zeigte sich, daß man der Masse dieser Elementarteilchen der Substanz keine konstante Größe beimessen darf, daß diese vielmehr von ihrer Geschwindigkeit abhängt. Ja selbst die letzte Spur einer Vorstellung von dem Substanzcharakter des Protons und Elektrons wird hinfällig, da an den Korpuskularstrahlen (Kathoden- und Protonenstrahlen) die Erscheinungen der Beugung und Interferenz nachzuweisen sind. Nach Schrödinger sind durch den Raum fliegende Elektronen und Protonen als „Wellenpakete" anzusehen. So entschwindet der Substanzbegriff völlig, und an seine Stelle tritt etwas rein Mathematisches. Damit wird Kants Gleichsetzung von „Erhaltung der Substanz" mit „Erhaltung des Gewichts" völlig unzulässig. Auch das Kausalgesetz, das bei der Errichtung des klassischen physikalischen Lehrgebäudes gleichsam den verbindenden Mörtel bildete, kann in seiner absoluten Gültigkeit in der neuesten Physik nicht mehr aufrecht erhalten werden. „Für das subatomare Gebiet versagen alle aus dem Makroskopischen gewohnten Begriffe." Dem subatomaren Geschehen ist theoretisch nur mit Vorstellungen aus der Wahrscheinlichkeitslehre beizukommen.

Der Verfasser zeigt also, wie bei dem Ausbau der Naturwissenschaft nicht bloß der Substanzbegriff, sondern alle festen Grundvorstellungen, von denen man bei der Gestaltung des mechanistischen Weltbildes ausging, erschüttert worden sind. Es gibt danach keine „ehernen Gesetze" mehr, die das Naturgeschehen beherrschen, nur Regeln, die sich aus statistischen Betrachtungen ergeben, wie man ja schon lange in der kinetischen Gastheorie die Gasgesetze aus statistischen Erwägungen abgeleitet hat.

Wenn nun, so schließt jetzt der Verfasser, die neueste Physik auf eine Substanz verzichtet und es „nur noch mit der formalen Verfassung des Wirklichen zu tun hat", also nur mit mathematischen Vorstellungen, andererseits aber der Gedanke sich aufdrängt, daß die Welt doch etwas anderes noch sein muß als bloße mathematische Form, diese Form also „nach einer Ausfüllung geradezu schreit" (Eddington), so scheint nichts im Wege zu stehen, das Seelische als dasjenige zu betrachten, das diese Form ausfüllt. Er deutet an, wie man bei dieser Betrachtungsweise einen Standpunkt gewinnen kann, von dem aus gesehen wieder Platz wird für die Begriffe Seele, Gott, Willensfreiheit usw. Der Verfasser stellt keine neue Lehre auf, sondern will nur Programmpunkte für ein zu errichtendes spiritualistisches Lehrgebäude angeben, das sich auf den heutigen Stand der physikalischen Forschung gründen könnte.

Jeder, der die Schrift des tiefschürfenden Verfassers liest, wird ihm darin zustimmen, daß eine solche Verwendung der neuesten physikalischen Forschungsergebnisse nicht bloß möglich, sondern auch zu erwarten ist. Aber ebenso sicher dürfte sein, daß viele Leser, die im Besitz des Gottesglaubens sind, sich mit einem Gottsuchen auf diesen Spuren nicht werden befreunden können, obwohl diese Schrift auch für sie eine interessante Lektüre bilden wird. *Steindel.*

Chemische Unterrichtsversuche. Ausgewählte Beispiele für den Gebrauch an Hochschulen und höheren Lehranstalten. Von H. Rheinboldt. 326 Seiten, 112 Abbildungen. Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1934. Preis geb. RM 10,—.

Das von R. Winderlich in dieser Zeitschr. 47, 42 (1934) angekündigte Buch liegt jetzt fertig vor. Da das Grundsätzliche in diesem Berichte

bereits gesagt ist, soll hier nur auf die Einzelheiten eingegangen werden.

Es werden 570 Versuche der anorganischen und organischen Chemie beschrieben und Anleitungen gegeben zur Anfertigung wichtiger Apparate und Hilfsmittel, sowie zur Darstellung erforderlicher Präparate und Reagenzien. Viele neue Versuchsbeschreibungen sind angegeben, die in anderen Büchern nicht vertreten sind; diese beziehen sich vor allem auf wichtige technische Prozesse und historisch bedeutsame Versuche. Den Lesern unserer Zeitschrift werden einige davon durch die Veröffentlichungen des Verfassers aus den letzten Jahrgängen der Zeitschrift bekannt sein. Auch hierin finden sich jedoch noch kleine Abänderungen, die auf eine weitere Ausarbeitung der Versuche schließen lassen.

Es werden fast alle Gebiete der anorganischen und organischen Chemie behandelt. Mit besonderer Absicht sind darunter Versuche mit Gasen bevorzugt, da an ihnen apparativ und experimentell am meisten zu lernen ist; außerdem werden durch die dabei auftretenden Volumverhältnisse die Versuche anschaulicher und einer messenden Auswertung leichter zugänglich. Bei allen Versuchen ist das Bestreben des Verfassers zu erkennen, nur einfache Hilfsmittel zu benutzen; die zur Verwendung kommenden Apparaturen sind aus einzelnen, häufig wiederkehrenden Aufbauteilen zusammengesetzt. In den Fällen, wo besondere Vorrichtungen nötig sind, wird die Anfertigung der Stücke so beschrieben, daß sie mit den Mitteln des Laboratoriums hergestellt werden können.

Zur Anordnung der Versuche hat der Verfasser eine Systematik gewählt, die das Auffinden bestimmter Versuche leicht ermöglicht. Darüber hinaus werden im Text Hinweise auf sachlich angrenzende Versuche gegeben und in einem Sachregister die Versuche nach verschiedenen Gruppierungen zusammengefaßt. Z. B. findet man unter dem Stichwort „Thermische Zersetzung" alle in dem Buch angeführten Versuche aufgezählt, bei denen eine thermische Zersetzung eine Rolle spielt, oder das Stichwort „Katalysatoren" verweist auf alle behandelten katalytischen Prozesse.

Daß der Verfasser nur eine Auswahl von Versuchen gibt und auf Vollständigkeit im Interesse der zu übernehmenden Verantwortung für die Versuchsbeschreibungen verzichtet, kann ihm nicht hoch genug angerechnet werden. Denn was nützt uns ein Buch mit Versuchsbeschreibungen, für das nicht mehr Arbeit als nur die des Abschreibens und des Zusammenstellens aufgewendet worden wäre? Für diese Zurückhaltung müssen wir dem Verfasser dankbar sein. Auch in einer anderen Beziehung haben wir dem Verfasser Dank abzustatten: Um allen, die ein Interesse an dem Buch haben, die Anschaffung zu erleichtern, hat er auf jegliches Honorar verzichtet, so daß das Buch für den Preis 10 RM im Buchhandel erscheint. Dieser Preis ist als außerordentlich niedrig zu bezeichnen, besonders wenn man bedenkt, daß das Buch eine große Anzahl neuer, von L. Beumelburg klar und übersichtlich gezeichneter Abbildungen enthält. *Scharf.*

Thermochemie. Von W. A. Roth. 102 Seiten mit 15 Figuren. Band 1057 der Sammlung Göschen. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1932. Preis geb. RM 1,62.

Eine kurzgefaßte Einführung in die Thermochemie ist ein Hilfsmittel, das der Lehrer gebrauchen kann. Hier liegt es vor, geschrieben von dem auf diesem Gebiet maßgebenden Forscher W. A. Roth. In dem Text zeigt sich überall, daß ein erfahrener Praktiker zu uns spricht, so daß die kleine Schrift rückhaltlos empfohlen werden kann. *Scharf.*

Angelus Sala, seine wissenschaftliche Bedeutung als Chemiker im XVII. Jahrhundert. Von Dr. Robert Capobus. Mit Porträt und Faksimile. 67 Seiten. Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W 35. RM 3,—.

Vor 20 Jahren hat K. v. Buchka in einem Aufsatz über Angelus Sala [Arch. f. Gesch. d. Nat. u. d. Techn. **6**, 20—26 (1913)] das Fehlen einer genauen und zuverlässigen Kenntnis der ursprünglichen Werke des Angelus Sala beklagt. Diesem Mangel hat Capobus durch sein Büchlein abgeholfen, in dem er seine Studien der Werke des Sala und der einschlägigen Akten in den Archiven zu Schwerin und zu Oldenburg niedergelegt hat. Im Abschnitt III hat er „Die Bedeutung Angelus Salas als Chemiker und Arzt" geschildert und im Abschnitt IV „Die Werke Salas" genau aufgeführt und 3 von den 19 Schriften zergliedert, „weil aus ihnen nur der Chemiker Sala spricht". Als Ergebnis dieser Untersuchung faßt Capobus zusammen, daß Sala „in der Menge und in dem Wert der gebrachten praktischen Chemie mit an der Spitze stehen und zu den führenden Männern seiner Zeit zu rechnen sein" dürfte (S. 67). Bemerkenswert ist, daß Sala im Jahre 1628 Mitglied der „fruchtbringenden Gesellschaft" zu Weimar wurde, die grundsätzlich die hochdeutsche Sprache pflegte und alle fremden Ausdrücke zu vermeiden suchte. „Sala läßt daher seine letzten Werke nicht mehr ins Lateinische übersetzen, sondern veröffentlicht sie in deutscher Sprache" (S. 21). — Ergänzend sei bemerkt, daß Sala den Mitgliedsnamen „Der Lindernde" wählte.

R. Winderlich.

Johann Kunckel (1630—1703). Von H. Maurach. Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte. 5. Jg. Heft 2. Berlin: VDI-Verlag G. m. b. H. 1933. DIN A 5. II und 34 Seiten mit 3 Abbildungen und 1 Bildnis. Broschiert RM 0,90.

Der Glasmachersohn Johann Kunckel, den der Große Kurfürst hochschätzte, in seine Dienste nahm und freigebig unterstützte, den sein Nachfolger Friedrich III. hingegen als angeblichen Betrüger verfolgte, den der Schwedenkönig Karl XI. in den Ritterstand erhob, dieser heiß umstrittene Mann war kein Anhänger der Goldmacherei, wie allgemein geglaubt wurde. In den dauernden Ruf eines Alchemisten kam er durch Engelleder, der nach Kunckels Tode dessen Niederschriften zu den Vorträgen über Experimentalchemie als „Laboratoricum chymi-

cum" herausgab. Seine Berühmtheit verdankte Kunckel seinen praktischen Erfolgen in den von ihm geleiteten Glashütten, seinem vorzüglichen Kristallglase und seinem wundervollen Goldrubinglase, ferner dem sehr wesentlichen Umstand, daß er in deutscher Sprache lehrte und schrieb. Sein nüchtern klares Buch „Ars vitraria" hat praktisch und theoretisch nachhaltig fördernd gewirkt. Mit vollem Recht hat ihm das Deutsche Museum im Ehrensaal ein Denkmal gesetzt.

Maurach berichtet über „Kunckel und seine Zeitgenossen", über „Kunckels Herkunft und Frühzeit", „Kunckels Stellung zur Alchemie", über „Kunckel in Brandenburg", über „Das Goldrubinglas", über „Die Ars Vitraria Experimentalis" und ihre „Vorgeschichte". Den Abschluß bildet ein Schrifttumverzeichnis.

Zu beanstanden ist der Schnitzer auf S. 6 [36], daß der sächsische Amtmann Balduin den Phosphor entdeckt habe. *R. Winderlich.*

Vereine und Versammlungen.

Berliner Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts.

(Ortsgruppe des Deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts.)

Bericht über das Jahr 1933 (52. Vereinsjahr).

Den Vorstand bildeten die Herren Girke, Spillner, Klamrott und Haase.

Sitzungen.

17. Januar. Oberstudienrat Dr. Volkmann: Über schulgemäße Form der Versuche (mit Experimenten).

14. Februar. Gemeinsame Sitzung der Berliner Vereine zur Förderung des mathematischen, physikalischen, chemischen und biologischen Unterrichts. Demonstrationsvortrag von Prof. Dr. G. Hertz: Das Experiment im physikalischen Hochschulunterricht. Prof. Dr. W. Westphal: Wellenoptische Behandlung von Linsen und Hohlspiegeln. Dr. F. Houtermans: Demonstration einer einfachen Gitteraufstellung.

14. März. Dr. Henckel: Die Behandlung der Elektrizitätslehre nach Mie und Pohl im Schulunterricht. (Ergänzung zum Vortrag vom 6. Dezember 1932.)

16. Mai. Dr. von Olshausen: Einige ausgewählte physikalische Versuche (Experimentalvortrag). Bestimmung des Trägheitsmoments mit Hilfe der kleinen Drillachse, Messungen mit dem Schallradiometer, Messungen mit dem magnetischen Spannungsmesser (Versuche nach Pohl), Verdoppelung der Gitterstriche, Farbenverhüllung und Farbenmischung.

13. Juni. Gemeinsame Sitzung der Berliner Vereine zur Förderung des mathematischen und physikalischen Unterrichts. Studienrat Schwerdt: Nomographische Hilfsmittel im physikalischen Unterricht.

29. August. Dr. Moeller: Neue Versuche mit hohen Frequenzen. Mit einem kleinen Röhrengegentaktgenerator werden Frequenzen der Größenordnung $2 \cdot 10^7$ Hertz erzeugt. Als Kapazität dienen Plattenkondensatoren mit der Fläche 60 mal 60 cm. Es wurden gezeigt: Versuche zum Nachweis des magnetischen und elektrischen Wechselfeldes (Plattensonde) und der Wechselwirkung beider Felder. Resonanzversuche mittels magnetischer und elektrischer Erregung des Empfängers (offener Strahler).

22. September. Gemeinsame Kundgebung aller Fördervereine der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachgruppe: „Luftschutz tut not." Hauptmann a. D. Hampe, stellvertretender Reichsleiter der Technischen Nothilfe und Mitglied des Präsidialrates des Reichsluftschutzbundes: Luftschutz als Schicksalsfrage. Polizeimajor v. Paris, Luftschutzreferent des Berliner Polizeipräsidiums: Luftschutz und Reichshauptstadt.

17. Oktober. Kundgebung des Deutschen Fördervereins im Auditorium Maximum der Universität: Mathematik und Naturwissenschaften in der neuen Erziehung. Redner: Prof. Dr. Hamel (Berlin), Oberstudienrat Prof. Dr. Bavink (Bielefeld).

24. Oktober. Prof. Dr. L. Bergmann (Breslau): Versuche mit Selengleichrichtern und Sperrschichtphotozellen. (Vgl. diese Zeitschr. **1933**, 49f.)

28. November. Dr. Kröncke: 1. Vorführung einiger neuer Apparate (Verbesserung des Galton-Brettes, Knallgasbombe, Reifenapparat, Transformator). 2. Akustische Versuche (Zur Theorie der Lippenpfeife, Eigenschwingungen von Platten, Beugung kurzer Schallwellen). *R. Girke.*

Korrespondenz.

Druckfehler-Verbesserung zu dem Bericht „Das ultrarote Spektrum" von F. Matossi, **47**, 18 (1934). Fig. 6 auf S. 22 und Fig. 9 auf S. 26 sind zu vertauschen. Die Figuren-Unterschriften bleiben so stehen, wie sie gedruckt sind.

Verbilligung der Anleitungsblätter. Der Verlag E. Prüfer, Berlin-Steglitz, Heinrich-Seidel-Straße 7 teilt mit, daß er die Anleitungsblätter für die Schule [diese Zeitschrift **46**, 287 (1933)], bearbeitet von der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, da sie eine gute Aufnahme gefunden haben, künftig zu 5 Pfg. statt 7 Pfg. je Blatt abgeben kann.

Himmelserscheinungen im Mai und Juni 1934.

W.Z.: Welt-Zeit = Bürgerliche Zeit Greenwich. 0^h W.Z. = Mitternacht Bürgerliche Zeit Greenwich. Stundenzählung von 0^h bis 24^h. M.E.Z. = Mitteleuropäische Zeit = W.Z. + 1^h.

0^h W.Z.	Sonne ☉				Merkur ☿		Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♃		Saturn ♄	
	AR.	Dekl.	Zeitgl.[1]	Sternzeit[2]	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.
1934	h m	°	m s	h m s	h m	°	h m	°	h m	°	h m	°	h m	°
Mai 1	02 30	+14,8	— 2 51	14 32 56	01 41	+ 8,6	23 40	— 3,0	02 16	+13,3	13 00	—4,7	21 58	—13,6
,, 6	02 49	+16,3	— 3 24	14 52 39	02 18	+12,6	00 00	— 1,2	02 30	+14,6	12 58	—4,5	22 00	—13,5
,, 11	03 09	+17,6	— 3 43	15 12 21	02 58	+16,7	00 21	+ 0,6	02 45	+15,8	12 56	—4,4	22 01	—13,4
,, 16	03 28	+18,9	— 3 47	15 32 04	03 42	+20.3	00 41	+ 2,6	02 59	+16,9	12 55	—4,2	22 01	—13,4
,, 21	03 48	+20,0	— 3 37	15 51 47	04 27	+23,1	01 02	+ 4,5	03 14	+17,9	12 53	—4,1	22 02	—13,3
,, 26	04 08	+21,0	— 3 14	16 11 30	05 10	+24 9	01 23	+ 6,5	03 29	+18,9	12 52	—4,0	22 03	—13,3
,, 31	04 29	+21,8	— 2 39	16 31 13	05 50	+25,6	01 44	+ 8,5	03 43	+19,8	12 52	—4,0	22 03	—13,3
Juni 5	04 49	+22,4	— 1 53	16 50 55	06 25	+25,4	02 06	+10,4	03 58	+20,6	12 51	—3,9	22 03	—13,3
,, 10	05 10	+22,9	— 0 58	17 10 38	06 54	+24,5	02 28	+12,3	04 13	+21,3	12 51	—3,9	22 03	—13,3
,, 15	05 30	+23,3	+ 0 03	17 30 21	07 17	+23,2	02 50	+14,1	04 28	+22,0	12 51	—4,0	22 03	—13,3
,, 20	05 51	+23,4	+ 1 08	17 50 04	07 33	+21,7	03 13	+15,8	04 43	+22,5	12 51	—4,0	22 03	—13,4
,, 25	06 12	+23,4	+ 2 13	18 09 47	07 41	+20,2	03 37	+17.3	04 58	+23,0	12 52	—4,1	22 02	—13,4
,, 30	06 33	+23,2	+ 3 15	18 29 29	07 41	+18,8	04 01	+18,7	05 13	+23,4	12 53	—4,2	22 02	—13,5

[1] Zeitgleichung = mittlere Sonnenzeit, — wahre Sonnenzeit.

[2] Die Korrektion der Sternzeit für einen Ort λ° östlich bzw. westlich von Greenwich ist $\mp 0^s.657 \cdot \lambda^\circ$.

Auf- und Untergänge des oberen Randes der Sonne und des Mondes in mittlerer Ortszeit. Breite von Berlin (+ 52,5°), Länge von Stargard (15° östlich von Greenwich).

	Sonne		Mond			Sonne		Mond			Sonne		Mond	
	Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg
1934	h m	h m	h m	h m	1934	h m	h m	h m	h m	1934	h m	h m	h m	h m
Mai 1	04 30	19 25	22 51	04 46	Mai 26	03 50	20 05	17 31	01 57	Juni 20	03 36	20 26	12 25	23 48
,, 6	04 20	19 34	01 43	10 57	,, 31	03 44	20 11	23 20	05 39	,, 25	03 37	20 27	19 18	01 12
,, 11	04 12	19 42	02 51	17 48	Juni 5	03 40	20 16	00 33	12 56	,, 30	03 40	20 27	22 26	07 47
,, 16	04 04	19 50	05 18	23 24	,, 10	03 38	20 21	01 56	19 26					
,, 21	03 57	19 57	11 03	00 57	,, 15	03 36	20 24	06 25	22 47					

Mondphasen 1934 W.Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
				Mai 6, 06^h $41{,}0^m$
	Mai 13. 12^h $30{,}1^m$	Mai 21. 15^h $19{,}8^m$	Mai 28. 21^h $41{,}4^m$	Juni 4. 12^h $52{,}7^m$
	Juni 12. 02^h $11{,}5^m$	Juni 20. 06^h $36{,}7^m$	Juni 27. 05^h $07{,}9^m$	

Verfinsterungen der Jupitertrabanten in W.Z. (E = Eintritt, A = Austritt.)

I			II			III		
1934	h	m	1934	h	m	1934	h	m
Mai 6.	00	54.9 A	Juni 6.	21	30,4 A	Mai 2.	19	02,8 A
,, 7.	19	23,4 A	,, 13.	23	25,2 A	,, 9.	21	38,9 A
,, 14.	21	17,8 A	,, 22.	23	12,3 A	,, 17.	00	15,1 A
,, 21.	23	12,3 A	,, 29.	21	43,8 A	Juni 10.	21	20,8 A
,, 30.	19	35,6 A						

II			III		
1934	h	m	1934	h	m
Mai 2.	19	02,8 A	Mai 5.	00	57.3 E
,, 9.	21	38,9 A	Juni 2.	19	04,8 A
,, 17.	00	15,1 A	,, 9.	20	53,3 E
Juni 10.	21	20,8 A	,, 9.	23	03,7 A

Aufgang (A) und Untergang (U) der Planeten. Breite von Berlin, Zeitangaben in mittlerer Ortszeit.

	Merkur ☿		Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♃		Saturn ♄	
1934	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
Mai 1	A 4,3	U 18,0	A 3,3	U 14,9	A 4,4	U 19,0	A 16,7	U 4,1	A 2,6	U 12,2
,, 11	A 4,2	U 19,4	A 3,0	U 15,3	A 4,0	U 19,0	A 16,0	U 3,3	A 1,9	U 11,6
,, 21	A 4,3	U 21,0	A 2,8	U 15,5	A 3,6	U 19,1	A 15,3	U 2,6	A 1,3	U 11,0
,, 31	A 4,7	U 22,0	A 2,4	U 16,0	A 3,3	U 19.1	A 14,6	U 2,0	A 0,6	U 10,4
Juni 10	A 5,2	U 22,3	A 2,1	U 16,5	A 2,9	U 19,1	A 13.9	U 1.3	A 23.9	U 9,7
,, 20	A 5,5	U 21.9	A 1,9	U 16,9	A 2,6	U 19,1	A 13,3	U 0,6	A 23,3	U 9,1
,, 30	A 5,3	U 21,0	A 1,7	U 17,3	A 2,3	U 19,1	A 12,6	U 0,0	A 22,6	U 8,4

Merkur: Mai 15, untere Konjunktion; Juni 14, größte östliche Elongation, 24°; Juni 14, 7^h Konjunktion mit dem Mond, Merkur 1° südlich, abends leicht aufzufinden; Juni 27, stationär. — **Jupiter:** Juni 11, stationär. — **Saturn:** Juni 9, stationär. — **Sommeranfang:** Juni 22, 03^h. *S. Janß.*

Für die Redaktion verantwortlich: Ministerialrat Professor Dr. K. Metzner, Berlin W. 8.
Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsbuchhandlung gestattet.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz A.G., Würzburg.